

Técnicas visuoespaciais para a detecção de manifestações patológicas em fachadas argamassadas

Visuospatial techniques and the detection of pathological manifestations in mortar facades

Técnicas visuoespaciales para la detección de manifestaciones patológicas en fachadas de mortero

Recebido: 03/04/2022 | Revisado: 10/04/2022 | Aceito: 12/04/2022 | Publicado: 17/04/2022

Edemar Dias Xavier Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3669-6527>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: e1432@hotmail.com

Adriane Borda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6760-6566>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: adribord@hotmail.com

Mauren Aurich

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0797-1753>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: maurich.ufpel@gmail.com

Ariela da Silva Torres

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4686-9759>
Universidade Federal de Pelotas, Brasil
E-mail: arielatorres@gmail.com

Resumo

A degradação de edificações, inevitável pelo envelhecimento dos materiais construtivos, adquire maior relevância quando envolve o tema do patrimônio cultural. O revestimento de fachada funciona como uma camada de proteção, porém, devido à sua exposição às condições ambientais e climáticas, torna-se a área com maior incidência de danos na edificação. Para o controle desses danos, e estudos de como realizar uma manutenção adequada, realiza-se a detecção de manifestações patológicas nas fachadas, partindo-se de um levantamento visuoespacial, do tipo métrico e/ou fotográfico. Mais recentemente, com a crescente acessibilidade às tecnologias digitais, surgiram métodos como o fotogramétrico e escaneamento a laser. Esse tipo de estudo para a detecção das manifestações patológicas, em particular quando aborda um patrimônio cultural edificado, é uma tarefa complexa, uma vez que devem ser realizados somente processos não destrutivos. Esse trabalho apresenta vantagens e desvantagens de cinco tipos de levantamento, apoiando-se em diversos autores, relacionados à avaliação do estado de degradação de fachadas argamassadas. Os resultados, sistematizados em tabelas e gráficos, indicam que não existe o método perfeito, mas a combinação de vários deles pode levar a excelentes resultados. Observou-se também que os resultados apresentados são condicionados ao conhecimento técnico, e à infraestrutura disponível para a interpretação dos dados, de cada pesquisador para estimar os danos causados ao revestimento.

Palavras-chave: Patologia das construções; Fachadas; Engenharia diagnóstica; Tecnologias digitais de representação; Ensino de tecnologia.

Abstract

The degradation of buildings, inevitable due to the aging of construction materials, acquires greater relevance when it involves the theme of cultural heritage. The facade cladding works as a layer of protection, however, due to its exposure to environmental and climatic conditions, it becomes the area with the highest incidence of damage in the building. For the control of these damages, and studies of how to carry out an adequate maintenance, the detection of pathological manifestations in the facades must be accomplished, starting from a visuospatial inspection, of the metric and/or photographic type. More recently, with the increasing accessibility of digital technologies, methods such as photogrammetric and laser scanning have emerged. This type of study, the detection of pathological manifestations, particularly when dealing with a built cultural heritage, is a complex task, since only non-destructive processes must be performed. This work presents advantages and disadvantages of five different methods, based on several authors, associated to the evaluation of the state of degradation of mortar facades. The results, systematized in tables and graphs, indicate that there is no perfect technique, but combining several of them can lead to excellent results. It was also observed that the results obtained by different researchers, to estimate the damage caused to the coating, are conditioned to their technical knowledge and the infrastructure available for the interpretation of the data.

Keywords: Construction pathology; Facades; Diagnostic engineering; Digital representation technologies; Teaching.

Resumen

La degradación de los edificios, inevitable por el envejecimiento de los materiales de construcción, adquiere mayor relevancia cuando se trata del tema del patrimonio cultural. El revestimiento de fachada funciona como una capa de protección, sin embargo, debido a su exposición a las condiciones ambientales y climáticas, se convierte en la zona de mayor incidencia de daños en la edificación. Para el control de estos daños, y estudios de cómo realizar un mantenimiento adecuado, se debe realizar la detección de manifestaciones patológicas en las fachadas, a partir de una inspección visoespacial, de tipo métrica y/o fotográfica. Más recientemente, con la creciente accesibilidad de las tecnologías digitales, han surgido métodos como la fotogrametría y el escaneo láser. Este tipo de estudio, la detección de manifestaciones patológicas, particularmente cuando se trata de un patrimonio cultural construido, es una tarea compleja, ya que solo se deben realizar procesos no destructivos. Este trabajo presenta ventajas y desventajas de cinco métodos diferentes, basados en varios autores, asociados a la evaluación del estado de degradación de fachadas de mortero. Los resultados, sistematizados en tablas y gráficos, indican que no existe una técnica perfecta, pero la combinación de varias de ellas puede conducir a excelentes resultados. También se observó que los resultados obtenidos por diferentes investigadores, para estimar el daño causado al recubrimiento, están condicionados a su conocimiento técnico y la infraestructura disponible para la interpretación de los datos.

Palabras clave: Patología de la construcción; Fachadas ingeniería de diagnóstico; Tecnologías de representación digital; Enseñanza.

1. Introdução

A atenção ao processo de degradação das edificações ao longo do tempo é uma questão que adquire extrema relevância quando envolve o tema do patrimônio histórico. O patrimônio histórico pode ser entendido como todo e qualquer bem material ou imaterial que possua significado e se estabeleça como um suporte de memória para preservar a identidade cultural de uma comunidade. As edificações de interesse cultural, bens materiais, estão sujeitas a diversos cenários de degradação, seja pelas ações da própria natureza ou pelas ações humanas, antrópicas (Brandão et al., 2018).

Considerando-se a importância das edificações históricas de valor cultural e as questões de preservação e de salvaguarda desse patrimônio, a investigação do estado de degradação das fachadas dessas edificações é de extrema importância. O estudo acerca das manifestações patológicas, avaliando seus agentes e provável evolução, pode ser considerado uma ferramenta extremamente útil para auxiliar na manutenção e conservações das edificações inventariadas.

Diversos estudos abordam a problemática da preservação do patrimônio material (Costa et al., 2021; Barros, 2019; Barreto, 2019; Santos, 2019; Rocha et al., 2018; Klõšeiko & Kalamees, 2016; Cadena, 2016; Torres & Bezerra, 2015; Costa et al., 2013; Pereira, 2012; Guerra, 2012; Pasqualotto, 2012; Müller, 2010; Barthel et al., 2009), demonstrando a preocupação do meio acadêmico em manter essas edificações e fornecer subsídios corretos para processos de intervenção, visto a dificuldade de entendimento dos materiais aplicados na época da construção. Os autores citados destacam que a principal causa de deterioração das edificações históricas está diretamente condicionada ao envelhecimento inevitável dos materiais construtivos. Salientam que esta deterioração é agravada pelas condições ambientais e climáticas a que são expostos esses bens materiais ao longo do tempo, somado à falta de manutenção. Os autores ainda evidenciam que a inadequação, tanto de materiais como de processos construtivos, junto aos procedimentos de construção e manutenção, bem como de adaptações no uso dos imóveis, torna as edificações alvo de inúmeras manifestações patológicas.

O sistema de revestimento de fachada funciona como camada de proteção, estando sujeito à ação de agentes de degradação por ser uma das zonas mais expostas do edifício (Carvalho, 2014). Sendo assim, o revestimento de fachadas se torna a área com a maior incidência de danos (surgimento de manifestações patológicas) do sistema construtivo como um todo. (Terra, 2001).

A identificação de manifestações patológicas, independentemente da idade da edificação, mas principalmente nas históricas, é uma tarefa complexa, especialmente devido à recorrente falta de registros, tanto construtivos quanto sobre o histórico de intervenções, não realizados ao longo do tempo de vida da edificação. Somam-se a isto, muitas vezes, as restrições de acesso às informações sobre as edificações e impedimentos da utilização de técnicas destrutivas que permitiriam

compreender tal edificação em sua biografia.

Muitas são as técnicas não destrutivas empregadas ao longo dos anos para a detecção de manifestações patológicas em fachadas de revestimento argamassado. O mapa de danos, por exemplo, é uma metodologia de levantamento de dados onde são ilustradas, através de representação gráfica, todas as manifestações de deterioração da edificação, por meio de símbolos que simulam as diversas categorias e níveis de degradação identificados (Tirello et. al, 2012). Porém, apesar do mapa de danos ser uma metodologia bastante difundida, a sua elaboração é necessária a produção de uma base de dados, a qual é feita por meio de levantamento dos danos existentes na edificação. E, com a crescente acessibilidade a novas tecnologias e a novos métodos cada vez mais eficazes de detecção de manifestações patológicas, torna-se importante, então, um estudo comparativo destas técnicas para uma análise se, de fato, estão sendo bem empregadas e se está sendo aproveitado, ao máximo, o potencial das ditas novas tecnologias (Ruiz et al., 2002).

Os levantamentos não destrutivos, como a técnica de fotogrametria (Amorim, 2012), são recursos investigativos que não causam danos ao elemento estudado. Estes levantamentos são de grande valor para o estudo de patrimônio histórico, cujas edificações não podem ser submetidas a alterações que comprometam sua integridade. Porém, a combinação de vários levantamentos, associada ao conhecimento dos fatores que influenciam nos resultados, pode facilitar a interpretação dos dados e validar a estimativa dos danos causados ao patrimônio histórico. Há casos também em que um aumento no nível de detalhamento pode ser necessário para que se obtenha mais informação sobre determinadas partes da edificação, aumentando, assim, a precisão na detecção de determinada manifestação patológica, mas, ainda assim, será um levantamento pontual e não total (Bim, 2019). Com o propósito de sistematizar estas informações, esse artigo propõe-se a apresentar um estudo comparativo entre as diferentes técnicas empregadas em levantamentos. Dentre os tipos de levantamentos citados, têm-se:

O levantamento fotográfico digital de alta resolução, o qual consiste, basicamente, na tomada fotográfica, automatizado ou não, de imagens da fachada de uma edificação para a posterior análise de manifestações patológicas, com ou sem auxílio de softwares de processamento digital de imagens. Através das fotografias obtidas de duas dimensões observam-se os danos e estes são marcados com hachuras. Este método, embora eficaz, pode ser caracterizado como bastante específico para danos acentuados, como é o caso de uma fachada ou parte dela (Álvares, 2009; Barthel et al., 2009);

O levantamento métrico clássico, cuja inspeção das manifestações patológicas é feita por especialista com o auxílio de fichas e croquis onde são anotadas todas as ocorrências julgadas importantes. Por isso, pode ser considerado um método subjetivo, visto que o que pode ser relevante para um especialista pode não ser considerado por outro;

O levantamento métrico misto, configurado pela junção do levantamento fotográfico digital com o levantamento métrico clássico. Este tipo de levantamento trata de constituir um mapa de danos, que é um documento gráfico que sintetiza informações a respeito do estado de conservação geral de um edifício, por meio de símbolos gráficos com os quais se representam as diversas categorias e níveis de degradação identificados (Tirello; Correa, 2012). O desenvolvimento do mapa de danos consiste em uma representação gráfico-fotográfica rigorosa e minuciosa de todas as manifestações patológicas da edificação, ao qual sintetiza o resultado das investigações sobre as alterações da edificação (Tinoco, 2009);

O levantamento por escaneamento digital, o qual consiste, segundo Coelho et al. (2019), em um levantamento que utiliza equipamentos especiais de varredura tridimensional a laser de superfícies para a geração de modelos geométricos tridimensionais. Fornece, como produto, a representação gráfica das características físicas e geométricas da fachada de forma rigorosa e detalhada possibilitando a obtenção de desenhos 2D e o modelo 3D da Edificação. É considerada uma técnica de alto custo, pois os equipamentos necessários são caros e exigem um técnico especializado para o manuseio e processamento da

informação. A técnica permite a obtenção de ortofotos¹ em alta resolução com a definição de pontos de articulação, parâmetros geométricos e coordenadas, para posterior processamento em softwares específicos. Frente à alta definição das imagens obtidas e da precisão das representações gráficas, esta técnica permite registrar o estado de conservação dos elementos e elaborar mapeamentos detalhados para assim obter diagnósticos mais completos e planejamentos mais precisos para intervenções.

A escolha do método a ser utilizado, para a realização do levantamento do estado de degradação das fachadas das edificações, deve ser apropriada para cada uma das circunstâncias abordadas, tanto das próprias edificações como da infraestrutura técnica e econômica disponível. Uma etapa indispensável de um levantamento é o registro das características visuais, que pode ocorrer por levantamento fotográfico e geométrico de toda ou parte de uma edificação, com precisão de distâncias, ângulos e posições relativas entre as partes.

O levantamento fotográfico e o métrico clássico são indicados para o diagnóstico de todos os tipos de manifestações patológicas, em especial por envolver diretamente a técnica associada à experiência do especialista. Porém, produzem, em geral, um resultado regular, se comparados com técnicas que permitem informar a posição no espaço de cada ponto da superfície visível da edificação, assim como a cor deste ponto, como ocorre com o uso da fotogrametria digital e do escaneamento 3D. Entretanto, dependendo do caso, a maneira clássica de levantamento tem em contrapartida um custo benefício considerado médio. Ao agregar a este método um levantamento fotográfico sistemático, é possível avançar na compreensão e reconstituição, de maneira integral ou parcial da edificação, no conjunto ou em seus detalhes, antes de uma intervenção. Quando isso ocorre tem-se, então, um levantamento misto, que, segundo Barthel et al. (2009), é recomendado também para todos os tipos de levantamentos de manifestações patológicas, oferecendo resultados melhores do que o método clássico, porém, geralmente, possui um custo-benefício elevado. Este custo se deve principalmente pela necessidade da presença integral de um especialista na área, além de estrutura física, como, por exemplo, equipamentos para acessar elementos em altura. Atualmente, segundo Melo Júnior et al. (2018), estes custos podem ser reduzidos com a utilização de VANT para a aquisição das fotografias de parte mais altas do edifício.

Já o levantamento fotográfico digital de alta resolução consiste na tomada fotográfica, que pode ser automatizada com o uso de plataformas robóticas e de câmera fotográfica. Segundo Costa et al. (2013), este tipo de plataforma serve para controle da câmera na captura de múltiplas imagens a partir de um ponto inicial até um ponto final, cobrindo assim a totalidade da fachada de uma edificação, formando um mosaico fotográfico panorâmico. Este mosaico resulta de um processamento de software, por exemplo, como o GigaPan Stitch, para a sobreposição das imagens (costuras entre as fotografias), o que gera uma única imagem com alta resolução, mas que ainda assim precisa ser retificada, pois segue sob o efeito do sistema cônico de projeção, com distorções do efeito da perspectiva. Para tanto, é utilizado softwares como o ArcGIS que, além da retificação da imagem em uma ortofoto, facilita a identificação e mapeamento das áreas degradadas. A retificação da imagem é necessária, pois, ao ser associada ao dimensionamento, por medição, correto da fachada, permite mensurar de maneira bastante aproximada a área e forma das manifestações patológicas. Porém, estas plataformas robóticas ainda são relativamente caras e de uso mais restrito.

Segundo Barthel (2009), a técnica de fotogrametria é indicada para identificar todos os tipos de manifestações patológicas, e os resultados obtidos, em termos métricos e visuais, são melhores em comparação aos tipos de levantamentos

¹ As ortofotos são produtos fotogramétricos resultantes de um processo chamado de retificação diferencial, em que são eliminados os deslocamentos causados pela deformação perspectiva, pela inclinação da câmera fotográfica em relação ao plano principal da fachada do objeto fotografado e pela variação de relevo do referido objeto. “Em uma ortofoto, as imagens dos objetos são apresentadas em um sistema de projeção ortogonal, ao contrário de uma fotografia que é concebida em um sistema de projeção central. O centro perspectivo de uma ortofoto é deslocado para o infinito, portanto as projetantes são paralelas entre si, mantendo sua verdadeira posição ortográfica. As ortofotos são geometricamente equivalentes a mapas de linhas.” (COSTA; AMORIM, 2009).

mencionados anteriormente. A fotogrametria vem ganhando cada vez mais uso e isto se dá, segundo Groetelaars (2015), principalmente, pela popularização nos últimos tempos das câmeras digitais, somado ao grande avanço do poder computacional dos computadores pessoais e a disseminação de softwares de fotogrametria gratuitos, como o VisualSfM e APERO-MicMac, e as versões de processamento remoto via web como o ARC 3D, Microsoft Photosynth Hyper 3D, bem como as versões comerciais, dentre as quais recebe destaque o Photo Modeler Scanner.

Segundo alguns autores (Walford, 2009; Tang et al., 2002; Groetelaars, 2015; Amorim, 2012; Li et al., 2013), a técnica de fotogrametria DSM (Dense Stereo Matching) é apropriada para levantamentos de manifestações patológicas, pois além do baixo custo dos equipamentos (câmera digital e software) em relação ao escaneamento a laser 3D, permite também a obtenção de modelos geométricos texturizados de alta resolução, que podem ser usados para a geração de outros produtos derivados, como ortofotos, desenhos, animações, prototipagem rápida e mapas de danos.

Estas técnicas de representação automatizadas, tridimensionais, podem ser associadas, já nas primeiras etapas do levantamento, às tecnologias BIM (Building Information Modeling) o que tem caracterizado a área de estudos em HBIM (Históric Building Information Modeling). O HBIM é um processo aplicado a edifícios existentes que vai desde edificações de escala monumental à escala da habitação, permitindo criar modelos inteligentes e capazes de conter e gerenciar informações. Os modelos criados por esta abordagem buscam reunir informações de identificação dos componentes, em seus inúmeros aspectos, incluindo as propriedades físicas sempre associadas à geometria de cada um destes componentes. O HBIM se diferencia do BIM justamente por não envolver a definição de um novo projeto, mas por configurar um novo método de trabalho para abordar edificações existentes. Este processo começa, geralmente, com os levantamentos digitais mencionados, com uso de um escâner a laser ou câmera fotográfica. A fotografia aérea é normalmente associada ao emprego de veículo aéreo não tripulado (VANT), popularizado como um drone, que, controlado remotamente, pode realizar inúmeras tarefas, como, nesse caso, fotografar uma edificação desde pontos de vista de difícil acesso para abarcar toda a tridimensionalidade da edificação, como coberturas e também de fachadas de edificações em altura. Para a representação de detalhes, por exemplo de saliências nas fachadas, onde se desenvolvem grande parte das manifestações patológicas, faz-se necessário fotografar todos os lados de cada elemento.

Outra vantagem, da técnica de fotogrametria DSM, é a possibilidade de gerar ortofotos de alta resolução 3.472 x 1.513 píxeis, totalizando 5.253.136 píxeis, o que possibilita detectar manifestações patológicas com área maior que 0,6 cm². Esta área pode ser menor ou maior de acordo com as características dos equipamentos empregados e do controle dos parâmetros utilizado no Processamento Digital de Imagens DPI das ortofotos (Melo Júnior et al., 2018).

Dentre algumas citações que usaram diferentes técnicas de levantamentos, podemos mencionar, Barthel et al. (2009), autores que fizeram uso da fotografia de alta resolução para a representação de mapas dos danos em diferentes edificações e concluíram que a falta de padronização destes mapas dificulta as comparações entre os resultados das análises. Barbosa et al. (2011) avaliaram as manifestações patológicas de uma edificação apenas com vistoria ao local e fotografias. Concluíram a necessidade de mais informações para viabilizar a determinação de técnicas de recuperação. Costa et al. (2009) buscaram alternativas para o desenvolvimento de mapa de danos relativos a edifícios históricos, a fim de auxiliar projetos de preservação e restauração. Produziram e vetorizaram ortoimagens das fachadas e das paredes internas dos edifícios estudados, para então sobrepor as informações com desenhos que representam as manifestações patológicas, ou seja, o mapa de danos. Estes autores concluíram a eficácia das ortofotos, mas ressaltaram a importância de a identificação das manifestações patológicas serem validadas in loco por especialista e que muitas vezes há a necessidade da realização de prospecções e investigações laboratoriais para a caracterização precisa da manifestação patológica encontrada.

Costa et al. (2013) utilizaram equipamentos de alta precisão para os levantamentos realizados, capazes de gerar imagens de alta resolução (GigaPixel), tais como: a câmera digital padrão de alta resolução, plataforma robótica, softwares

específicos para a geração de mosaicos panorâmicos, assim como softwares necessários para a identificação, quantificação e mapeamento das manifestações patológicas. As ferramentas empregadas mostraram-se adequadas, pois reduziram o tempo e o custo global do levantamento, realizando um registro detalhado e preciso das manifestações patológicas existentes. Melo Júnior et al. (2014) utilizaram diversas técnicas para elaboração do levantamento em fachadas e concluíram que a obtenção de ortoimagens pelo PhotoScan demonstrou-se eficiente para correção do efeito de perspectiva. Destacaram que o VANT permitiu alcançar o topo da edificação e com isto obtiveram imagens sobre toda a superfície externa da edificação. O mapa de danos foi realizado com o apoio da extração automática de informações pelo uso do software MATLAB e os autores afirmam que este apoio se demonstrou possível e aplicável para otimizar a detecção das manifestações patológicas por formação de manchas.

Torres e Silva (2015) avaliaram as principais manifestações patológicas de uma edificação construída no ano de 1903, a partir de métodos visuais, fotografias de média resolução e mapa de danos. Mapearam manifestações patológicas do tipo descolamentos, manchas de umidade, fissuras, dentre outros. Concluíram que o uso destas ferramentas não possibilitou a determinação quantitativa do estado de degradação da edificação, porém oportunizou um conhecimento preliminar do sistema construtivo e das áreas afetadas. Torres e Bezerra (2015) registraram, através de métodos visuais, fotográficos e desenhos, o estado de degradação das fachadas de uma edificação de interesse patrimonial. Manifestações do tipo descolamentos, fissuras, corrosão de gradis, decomposição de esquadrias, entre outras, foram identificadas. Os autores ressaltaram a necessidade de levantamentos periódicos e uso de outras ferramentas para que seja mensurado o ritmo da degradação e alertar sobre a urgência da intervenção na edificação para garantir a sua preservação.

Delfino et al. (2017) estudaram as manifestações patológicas ocorridas em um patrimônio histórico a partir de fotografias do local e do desenvolvimento de fichas para estudo e tentativa de determinar as causas e sugerir intervenções. Já o estudo apresentado em Melo Júnior et al. (2018) aplicou uma metodologia para geração automática de mapas de danos em ortoimagens de fachadas de edifícios, utilizando-se de um VANT para a captura das fotografias, e baseou-se nos mapas de danos e inspeção visual para avaliação dos resultados. Através da DSM, foram gerados modelos geométricos por nuvem de pontos no programa PhotoScan para a obtenção de ortoimagens. A simulação possibilitou a quantificação das manifestações patológicas. Os resultados demonstraram a eficácia do uso do equipamento VANT como uma ferramenta para inspeção de fachadas e para a captura de imagens a serem utilizadas por meio da técnica DSM. A geração de mapas de danos também foi eficaz, no entanto o estudo enfatizou que a participação do especialista se mostrou determinante para alcançar os resultados esperados.

Coelho et al. (2019) criaram uma ferramenta para organização das informações históricas e técnicas sobre as edificações de interesse patrimonial. O artigo discute as dificuldades no desenvolvimento de um sistema de informação para edificações históricas, com vistas a um adequado modelo de planejamento de inspeção, monitoramento e intervenções. Apresenta os principais objetivos do estudo, traça as experiências e dificuldades de um escritório técnico especializado em preservação do patrimônio edificado de cunho institucional e aponta perspectivas futuras para o aprimoramento do planejamento das ações de conservação.

Atualmente muitos estudos tem utilizado da técnica de revisões de literatura para direcionar melhor os estudos, como por exemplo Morais et al (2020) que identificaram, meio de um estudo de revisão de literatura, as principais incidências de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado e verificaram que a mais frequente foi a corrosão da armadura, estando presente 100% da amostra analisada, além das fissuras e manchas, com 73% e 60%, respectivamente. Já Silva et al (2022) desenvolveram um trabalho que apresentou os resultados qualitativos de uma Revisão Sistemática da Literatura, desenvolvida com a finalidade de identificar o estado-da-arte de pesquisas relevantes que correlacionam os conceitos de HBIM (Modelagem da Informação da Construção Histórica) e Documentação de Danos do Patrimônio Construído,

concluindo grande dificuldade para uso em conjunto das ferramentas a fim de evoluir os desenvolvimentos de mapas de danos (cuja função é apresentar de forma sintética e precisa as manifestações patológicas nas edificações).

A partir do reconhecimento desses estudos, o objetivo desse trabalho foi realizar um levantamento das técnicas utilizadas para avaliar o estado de degradação de fachadas de edificações, identificar os tipos de manifestações patológicas abordadas com os métodos empregados e confrontar comparativamente as vantagens e desvantagens apontadas por cada um destes estudos. Buscou-se, também, compor um quadro referencial sobre os recursos utilizados e os tipos de resultados obtidos junto a este recorte da produção científica na área.

2. Metodologia

Conforme Pereira et al. (2018) esse trabalho trata-se de uma pesquisa exploratória, básica do tipo qualitativa e utilizou os procedimentos técnicos do tipo revisão bibliográfica. Visto este trabalho ter com objetivo responder quais métodos estão sendo utilizados para levantamentos das manifestações patológicas em fachadas, foi utilizada uma revisão narrativa, que teve fonte artigos científicos.

Realizou-se uma busca por artigos científicos produzidos entre os anos 2010 e 2020. A amostra da pesquisa contou com um universo nacional de dez trabalhos científicos selecionados junto à base de dados do Google Acadêmico. Como mecanismo de busca, foram utilizados os seguintes descritores: Revestimentos Argamassados, Fachada de Edificações, Fotogrametria, Manifestações Patológicas, Fachadas Argamassadas. Os trabalhos selecionados são apresentados no Quadro 1. Para escolha destes trabalhos, foi necessário estipular critérios para a escolha, como: deveriam descrever os métodos de levantamentos utilizados, além de terem como objetivo a análise das fachadas e assim a construção do mapa de danos das manifestações patológicas das mesmas.

Quadro 1 - Identificação dos trabalhos científicos selecionados.

AUTORES	TÍTULOS TRABALHOS SELECIONADOS
Costa et al., 2009	Geração de ortofotos para a produção de mapas de danos
Barthel et al., 2009	O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico
Barbosa et al., 2011	Patologias de Edifícios Históricos Tombados Estudo de Caso – Cine Teatro Central
Costa et al., 2013	Identificação de Danos em Fachadas de Edificações: Geração de Mosaicos Fotográficos Obtidos por Plataforma Robótica
Melo et al., 2014	Geração de mapas de danos de fachadas a partir de processamento digital de imagens
Torres e Silva, 2015	Patologias nos sistemas construtivos das edificações do início do século XX no sul do Rio Grande do Sul – estudo de caso de residência na cidade de Rio Grande/RS
Bezerra e Torres, 2015	Castelo Simões Lopes - um descaso com a história e o dinheiro público na cidade de Pelotas/RR
Delfino et al., 2017	Investigação de manifestações patológicas em patrimônio histórico: inspeção, diagnóstico e proposta de revitalização dos danos presentes na fazenda Maquiné em Araruna-PB.
Melo et al., 2018	Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital
Coelho et al., 2019	Tecnologias aplicadas à conservação do patrimônio edificado da Fiocruz

Fonte: Autores.

A partir da leitura, dos dez trabalhos selecionados, foram observados: a idade da construção, os tipos de métodos de levantamento efetuados para identificar as manifestações patológicas, as principais de manifestações patológicas envolvidas e a leitura sobre os fluxos de trabalho em cada um dos tipos de levantamentos, além disso, tentou-se identificar a dificuldade de aplicação de cada método.

3. Resultados e Discussão

O primeiro resultado deste estudo encontra-se sistematizado no Quadro 2. Foram reunidas informações sobre a identificação das edificações estudadas e apontados os tipos de levantamentos utilizados pelo conjunto dos trabalhos estudados (métrico, fotográfico, fotogramétrico e escaneamento a laser).

Quadro 2 - Edificações estudadas X tipos de levantamentos empregados.

Edificação Estudada		Tipo Levantamento			
		Métrico	Fotográfico	Fotogramétrico	Escaneamento a laser
Costa et al., 2009	Casa da Torre ou Castelo Garcia D'Ávila			X	
Barthel et al., 2009	Sobrado do Imperador / Basílica Nossa Senhora da Penha / Chanteclair	X	X		X
Barbosa et al., 2011	Cine Teatro Central em Juiz de Fora	X	X		
Costa et al., 2013	Palácio do Itamarati		X		
Melo et al., 2014	Biblioteca UnB			X	
Torres e Silva, 2015	Casarão Sec. XX	X	X		
Bezerra e Torres, 2015	Castelo Simões Lopes Neto		X		
Delfino et al., 2017	Casarão Fazenda Maquiné	X	X		
Melo et al., 2018	Biblioteca central UnB			X	
Coelho et al., 2019	Casarão Sec. XIX	X	X		

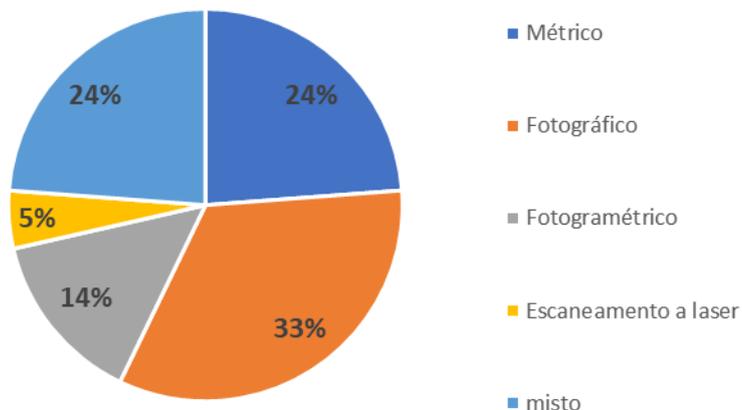
Fonte: Autores.

O Quadro 2 identifica o quantitativo da utilização de cada técnica dos estudos aqui apresentados, para contextualizar a fonte de dados que oportunizou esta sistematização. Considerou-se que algumas técnicas não têm aplicabilidade por diversas razões, dependendo da amostra a ser analisada, como, por exemplo, falta de espaço para a inserção dos equipamentos necessários (scanners ou máquinas fotográficas que exijam um distanciamento mínimo para que se possa obter as imagens). Observa-se que cinco trabalhos foram realizados no Formato Misto, no qual utilizaram o método métrico e fotográfico em conjunto, não tendo na amostra trabalhos com apenas o método métrico.

Deve-se destacar que estes quantitativos não permitem estabelecer relações sobre as tendências de intensificação de uso no tempo, por exemplo, das tecnologias digitais, como a fotogrametria e o escaneamento 3D, seja pelo limite da amostra ou pela necessidade de compreender as razões implícitas que levaram cada pesquisador a selecionar cada método empregado. Em geral, os estudos não explicitam estas questões. Entretanto, tais quantitativos elucidam a inclusão de resultados que advém do uso de todos os tipos de levantamentos, o que permitiu a extração dos dados sobre os tipos de manifestações patológicas envolvidas e dos fluxos de trabalho estabelecidos em cada caso. Como a escolha desta amostra ocorreu durante o segundo semestre do ano de 2020, deve-se considerar a possibilidade de que cada um dos pesquisadores referenciados pode ter avançado em relação à apropriação das tecnologias digitais ou, ainda, do uso cada vez mais híbrido por questões de complementaridade entre os diferentes tipos de levantamento e pela lógica de evolução em relação ao acesso físico e financeiro aos equipamentos necessários para tanto.

Nesta amostra, como pode ser visualizado na Figura 1, apenas um trabalho, do ano de 2009, utilizou três técnicas: Métrico, Fotográfico (que, utilizados em conjunto, intitula-se técnica mista) e o Escaneamento. Observa-se também que os três trabalhos que empregaram a fotogrametria utilizaram apenas essa técnica para avaliação e conclusão do trabalho. Pode-se conjecturar, portanto, que a produção de conhecimento na área não traz indicativos, pelo menos junto a esta amostra e até então, de estar condicionada à evolução tecnológica.

Figura 1 - Métodos para levantamento utilizados.



Fonte: Autores.

Sendo assim, as principais ferramentas utilizadas pelos autores foram a fotografia (de alta resolução), o levantamento visual feito por especialista na área com auxílio de fichas e fotografias, que compõe os mapas de danos, o escaneamento a laser e a fotogrametria. Nota-se, também, que a partir das nuvens de pontos levantadas por esses métodos, foram gerados os mapas de danos pelos pesquisadores. A vantagem do escaneamento a laser e da fotogrametria sobre os métodos visuais nos locais é, além do avanço em relação à precisão de medição, a possibilidade de compartilhar o trabalho de inspeção dos danos com outros profissionais da área sem a necessidade de ir ao local da edificação, tendo em vista a qualidade da representação digital visuoespacial.

O Quadro 3 identifica as manifestações patológicas citadas nos dez trabalhos que compõem a amostra, apresentando, também, a idade da edificação analisada em cada estudo. Salienta-se que, todos os trabalhos pesquisados envolveram edificações com fachadas de revestimento argamassado. Nesses estudos foram mencionados sete tipos de manifestações patológicas: sujidade, manchas e florescências, fissuras, descolamentos, perda de elementos e presença de vegetação. E, cabe ressaltar que seis, dos dez trabalhos avaliados, apresentaram todas as manifestações citadas.

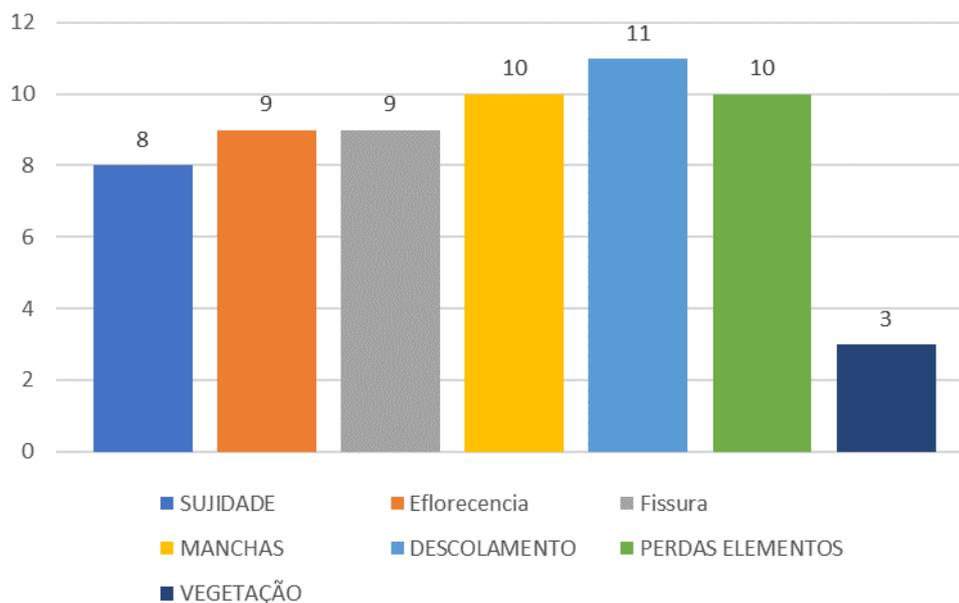
Quadro 3 - Edificações estudadas X manifestações patológicas identificadas.

Edificação Estudada		Idade	Manifestações Patológicas						
			Sujidade	Manchas	Efflorescência	Fissuras	Descolamento	Perda de Elementos	Vegetação
Costa et al., 2009	Casa da Torre ou Castelo Garcia D'Ávila	469 anos	X		X				X
Barthel et al., 2009	Sobrado do Imperador / Basílica Nossa Senhora da Penha / Chanteclair	Sec. XIX	X	X	X	X	X	X	X
Barbosa et al., 2011	Cine Teatro Central em Juiz de Fora	91 anos	X	X	X	X	X	X	X
Costa et al., 2013	Palácio do Itamarati	58 anos		X	X	X			
Melo et al., 2014	Biblioteca UnB	58 anos	X	X					
Torres e Silva, 2015	Casarão Sec. XX	Início Sec. XX	X	X	X	X	X	X	X
Bezerra e Torres, 2015	Castelo Simões Lopes Neto	100 anos	X	X	X	X	X	X	X
Delfino et al., 2017	Casarão Fazenda Maquiné	Sec. XX	X	X	X	X	X	X	X
Melo et al., 2018	Biblioteca central UnB	58 anos		X					
Coelho et al., 2019	Casarão Sec. XIX	Final Sec. XIX	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Autores.

Com base nos artigos citados, a principal causa de deterioração das edificações históricas, está diretamente condicionada ao envelhecimento inevitável dos materiais construtivos, agravada pelas condições ambientais e climáticas a que são expostos esses bens materiais ao longo do tempo, somado à falta de manutenção. Os tipos de danos apresentados nos trabalhos são variados, por consequência de agentes físicos e/ou químicos que incluem desde fissuras em torno de aberturas aos descolamentos de placas e trincas verticais. Todos os autores relataram que as manifestações patológicas resultam, também, de carregamentos de compressão excessivos, falta de chapisco, infiltração de água e do enfraquecimento da camada de argamassa devido à degradação natural dos materiais. A Figura 2 apresenta quantitativo das manifestações patológicas identificadas.

Figura 2 - Manifestações patológicas identificadas em fachadas argamassadas.



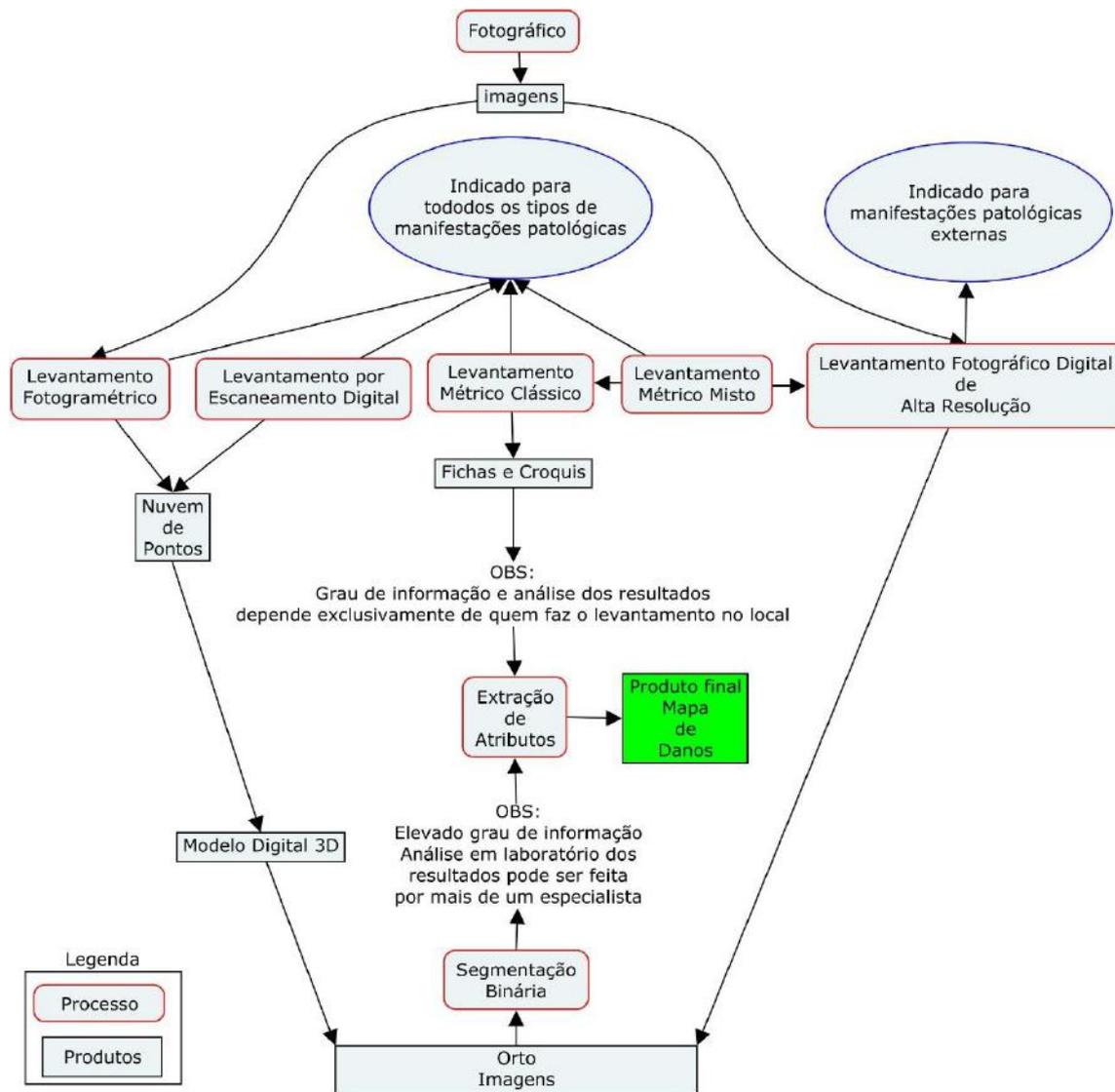
Fonte: Autores.

A partir dos Quadros 2 e 3, pode-se afirmar que as imagens obtidas por levantamentos fotográficos podem ser utilizadas de diversas maneiras como subsídio para a detecção dos diversos tipos de manifestações patológicas. Entretanto, a análise apoiada na fotografia, com a marcação de hachuras ou siglas de convenções, embora eficaz, pode ser caracterizada como bastante específica para danos acentuados. Este tipo de análise é, ainda, o método mais difundido, auxiliando no levantamento visual e posterior análise, subsidiando sugestões para intervenções. Porém é considerado um método de levantamento apropriado para estudos preliminares. Observou-se nos trabalhos que a maioria dos levantamentos fotográficos de alta resolução foi efetuada com o auxílio de tripés ou realizados à mão livre e, em casos de edificações em altitude, com o auxílio de drones.

Todo o processo de revisão forneceu subsídios para registrar, por meio de diagramas, uma compreensão sobre o fluxo de trabalho de cada método na identificação de manifestações patológicas envolvido junto aos estudos identificados. A partir deste tipo de sistematização, foi facilitada a detecção de pontos comuns entre os diferentes métodos, bem como, a compreensão sobre o tipo de produtos e processos obtidos e envolvidos em cada um dos cinco tipos de levantamentos analisados.

A pesquisa bibliográfica possibilitou, também, a reflexão sobre os fluxos de trabalho envolvidos nos métodos de levantamento identificados para a obtenção de mapas de danos. Estes métodos já haviam sido listados por Barthel et al. (2009), entretanto o principal resultado do presente estudo está diagramado na Figura 3, que apresenta cada um dos fluxos envolvido para os diferentes métodos de levantamento.

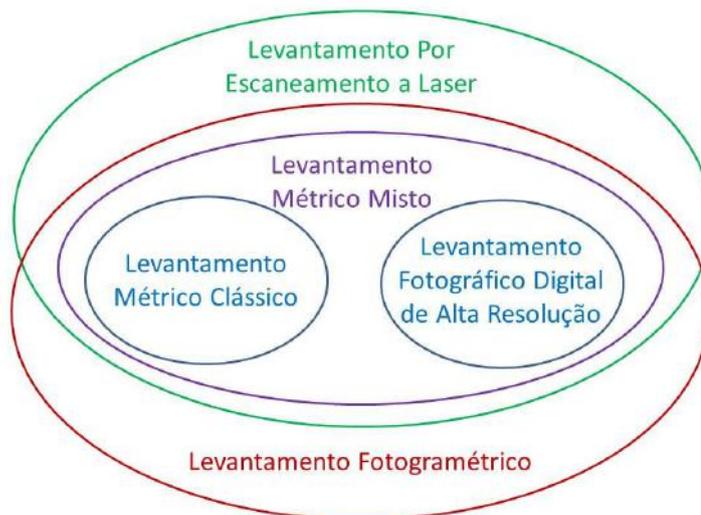
Figura 3 - Representação da interpretação dos fluxos de trabalho envolvidos em cada método de levantamento.



Fonte: Autores.

A partir deste tipo de representação, pode-se compreender visualmente que os cinco métodos estudados de levantamento de manifestações patológicas para elaboração de mapas de danos (fotogramétrico, a fotografia digital de alta resolução, o levantamento métrico clássico, o misto e o escaneamento digital) se sobrepõem e que, dependendo das etapas, já realizadas anteriormente, podem minimizar o desperdício tanto de tempo quanto de recursos. Com o intuito de sintetizar estas sobreposições e facilitar compreensão do alcance de cada método elaborou-se a representação da Figura 4. Ressalta-se que esta sobreposição indica que alguns métodos produzem o mesmo resultado de outras metodologias, portanto, a escolha de um dos métodos pelo pesquisador pode gerar diversos resultados e minimizar o tempo do estudo.

Figura 4 - Diferentes levantamentos e seus respectivos alcances.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

Levando-se em consideração os a importância de edificações de valor patrimonial, os quesitos de preservação delas e da importância da preservação desse patrimônio, a investigação acerca das manifestações patológicas e do estado de degradação das fachadas das edificações históricas é de suma importância. Bem como a escolha de um método para mapeamento do estado de degradação dessas fachadas.

O estudo proposto se caracterizou no campo da revisão bibliográfica com o intuito de contribuir com a compreensão do universo de métodos utilizados por um conjunto de trabalhos brasileiros, para avaliar os danos em fachadas de edificações históricas de valor cultural. Reafirmou-se o que os diversos autores abordados já ponderavam, que não existe um melhor ou pior método de levantamento. A adequação a cada caso depende do conhecimento técnico necessário e da disponibilidade de aplicação da técnica de cada pesquisador. Sendo assim, entende-se que a combinação dos métodos de levantamento para a obtenção de um mapa de danos pode levar a excelentes resultados, complementando as possíveis lacunas que um método pode deixar na investigação em relação a outro.

As sistematizações produzidas sobre um conjunto de estudos contribuem para o reconhecimento das potencialidades de cada um dos métodos abordados para a execução de um mapa de danos, utilizados para a conservação do patrimônio histórico arquitetônico. E, também, apresentam a necessidade do uso de mais de um método para se obter uma melhor eficiência em diagnóstico e posterior intervenção.

Ressalta-se que a execução de qualquer método de levantamento não impede a utilização de outro complementar, como o escaneamento a laser associado ao levantamento métrico, por exemplo. Em muitos casos observa-se que essa complementação é necessária, pois a maioria dos casos os levantamentos são efetuados com um nível de detalhamento específico e, dependendo da manifestação patológica encontrada, há a necessidade de uma observação mais detalhada de uma determinada área. Nestes casos, um levantamento complementar é fundamental.

Como sugestão a trabalhos futuros, nota-se a importância de sempre manter atualizada essa pesquisa, atualizando a amostra atualizada e desta maneira acompanhando o avanço tecnológico no uso das técnicas de levantamentos. Também sugere-se uma pesquisa para analisar como estão sendo desenvolvidos os mapas de danos criados a partir da utilização das técnicas de levantamentos.

Referências

- Álvares, P. M. (2009). *Fotogrametria digital e risco de incêndio em sítios históricos: possibilidades de aplicação*. (Dissertação). Universidade Federal de Ouro Preto. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
- Amorim, A. L. (2012). *Fotogrametria: uma introdução. Prati, Silva, EA Criação, Representação e Visualização Digitais*. (Dissertação) Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília.
- Barbosa, M. T., Polisseni, A. E., Hippert, M. A., Santos, W. J., Oliveira, I. M., & Monteiro, K. T. (2011). Patologias de Edifícios Históricos Tombados. Estudo de Caso – Cine Teatro Central. Revista *VITRUVIUS*, 128(05), ano 11, jan.
- Barreto, J. C. (2019). *Estudo da Degradação das Fachadas de Edificações Históricas da Cidade de Salvador- BA*. (Dissertação). Universidade Federal da Bahia. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Barros, J.P.B. (2019). *Levantamento das patologias presentes em fachadas de edifícios históricos na cidade de Pombal/PB: o caso da Escola Estadual de Ensino Fundamental João da Mata*. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Civil.
- Barthel, C., Lins, M., & Pestana, F. (2009). O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. *VII Jornada de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio*. Anais.
- BIM. *Level of development (lod) specification part I & commentary* (2019). https://bimforum.org/resources/Documents/BIMForum_LOD_2019_reprint.pdf
- Brandão, F., Mesquita, E., Diógenes, A., Antunes, P., & Varum, H. (2018). Caracterização dinâmica de uma edificação histórica do século XIX. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 11, 52-75.
- Cadena, D.C.B. (2016) *Análise estrutural da Igreja de Nossa Senhora da Conceição*. (Dissertação). Universidade do Minho. Escola de Engenharia.
- Carvalho, I.C. (2014). *Patologias em fachadas: análises de casos na Universidade Federal do Pará*. (Dissertação). Universidade Federal do Pará. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Coelho, C., Oliveira, B., Andrade, I., Mendes, F., & Sá, B. (2019). Tecnologias aplicadas à conservação do patrimônio edificado da Fiocruz. *Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído*, 6, 790-800. Anais.
- Costa, L. G. G., & Amorim, A. L. (2009). Geração de ortofotos para produção de mapas de danos. *XIII Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital*. Anais online.
- Costa, M. S., Christakou, E. D., Silva, L. S., & Nepomuceno, A. A. (2013). Identificação de Danos em Fachadas de Edificações: Geração de Mosaicos Fotográficos Obtidos por Plataforma Robótica. *XVII Congresso da Sociedade Ibero-Americana de Gráfica Digital*. Anais online.
- Costa, V. S., Silveira, A. M., & Torres, A. S. (2021). Evaluation of degradation state of historic building facades through qualitative and quantitative indicators: case study in Pelotas, Brazil. *International Journal of Architectural Heritage*, 1, 1-25.
- Delfino, L., Souza, K., Bezerra, D., & Costa, L. (2017). Investigação de manifestações patológicas em patrimônio histórico: inspeção, diagnóstico e proposta de revitalização dos danos presentes na fazenda Maquiné em Araruna-PB. *Conferência Nacional de Patologia e Recuperação de Estruturas*. Anais online.
- Groetelaars, N. J. (2015). *Criação de Modelos BIM a Partir de "Nuvens de Pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica*. (Tese). Universidade Federal da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
- Guerra, F. L. (2012). *Biodeterioração de conjuntos histórico do século XIX em Pelotas/RS: fungos filamentosos*. (Dissertação). Universidade Federal de Pelotas. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
- Klõšeiko, P., & Kalamees, T. (2016). Overview of damage to medieval rural churches in Estonia. Case studies of building pathology in cultural heritage. *Springer Singapore*, 1, 47-68.
- Melo Júnior, C. M., Evangelista Junior, F., Silva, L. S., & Nepomuceno, A. A. (2018) Geração de mapas de danos de fachadas de edifícios por processamento digital de imagens capturadas por Vant e uso de fotogrametria digital. *Ambiente Construído*, 18(3), 211-226, jul./set.
- Melo Júnior, C. M., Alves, G. S., Evangelista Júnior, F., Christakou, E. D., Silva, L. S., & Nepomuceno, A. A. (2014). Geração de mapas de danos de fachadas a partir de processamento digital de imagens. *XV Encontro Nacional do Ambiente Construído*. Anais online.
- Morais, J M. P., Silva, A. M., Barboza, E. N., Silva, E. M., & Oliveira, B. B. (2020). Analysis of pathological manifestations in reinforced concrete structures: a review. *Research, Society and Development*, 9(7): 1-32, e759974964
- Müller, S. R. (2010). *Histórico do campus e as patologias das fachadas dos prédios voltados para a Avenida Roraima*. (Dissertação). Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Pasqualotto, N. (2012). *Mapeamento de manifestações patológicas em edificação histórica: estudo no prédio do observatório astronômico da UFRGS*. (Monografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia, Graduação em Engenharia Civil.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.
- Pereira, L. M. (2012). *Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM*. (Dissertação). Universidade Federal de Santa Maria. Programa em Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

Rocha, E.A., Macedo, J.V. S., Correia, P., & Monteiro, E. C. B. (2018). Adaptação de mapa de danos para edifícios históricos com problemas patológicos: estudo de caso da Igreja do Carmo em Olinda PE. *Revista Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción*, 8(1), 51-63.

Ruiz, L. A., Lerma, J. L., & Gimeno, J. (2002). Application of Computer Vision Techniques to Support in the Restoration of Historical Buildings. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Graz-Austria, 227-230. Anais.

Santos, C. A. (2019). Mapa de danos para edifícios históricos com manifestações patológicas: estudo de caso da Catedral Nossa Senhora das Mercês em Porto Nacional (TO). *Engineering Sciences*, 7(1), 1-10.

Silva, F. B. L.da, & Cuperschmid, A. R. M. HBIM e mapa de danos: uma revisão sistemática da literatura. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 13, e022003, 2022. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v13i00.8663653>

Terra, R.C. (2001). *Levantamento de manifestações patológicas de fachadas das edificações da cidade de Pelotas*. (Dissertação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.

Tinoco, J. E. L. (2009). Mapa de danos recomendações básicas. *Olinda: centro de estudos avançados da conservação integrada - textos para discussão - gestão de restauro*, 2(43).

Tirello, R.A., & Correa, R. (2012). Sistema Normativo para mapas de danos de edifícios históricos aplicados à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. *VI Colóquio Latinoamericano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial*. Anais online.

Torres, A. S., & Bezerra, M. T. (2015). Castelo Simões Lopes - um descaso com a história e o dinheiro público na cidade de Pelotas/RS. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 6(2), 129-138.

Torres, A. S., & Silva, J. (2015). Patologias nos Sistemas Construtivos das Edificações do Início do Século XX no sul do Rio Grande do Sul – Estudo de caso de residência na cidade de Rio Grande/Rs. *REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, 10(2).