

MÉTODOS E FERRAMENTAS PARA MAPEAMENTO DE DANOS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS EM BIM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

METHODS AND TOOLS FOR DAMAGE MAPPING OF HISTORIC BUILDINGS IN BIM: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA EL MAPEO DE DAÑOS DE EDIFICIOS HISTÓRICOS EN BIM: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

João Daniel Silva Ramos ¹, Natalie Johanna Groetelaars ¹, Larissa Corrêa Acatuassú Nunes Santos ¹

RESUMO:

O projeto de intervenção em edificações patrimoniais exige reconhecimento do objeto nas mais diversas esferas: histórica, artística, arquitetônica e diagnóstica. É nessa última etapa em que se produz o mapa de danos, uma documentação que resume de forma gráfica, o estado de conservação das superfícies arquitetônicas. Geralmente, o mapa de danos é produzido em editores de desenho através de vistas ortográficas da edificação, em um método pouco automatizado e sistematizado, possibilitando erros e ambiguidade de informações. Em consonância com o surgimento de diversos estudos, experimentos vêm sendo realizados para a aplicação do *Building Information Modeling* (BIM) no mapeamento de danos em edificações históricas, o que pode contribuir para a visualização, acessibilidade e consistência das informações relacionadas aos danos. Nesse sentido, este artigo apresenta uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com o objetivo de reunir, classificar e discutir os métodos e as ferramentas que vêm sendo utilizados para mapeamento de danos no contexto BIM, considerando artigos disponíveis em bases de dados específicas, durante o período de 2012 a 2023. Conclui-se que mesmo com as lacunas identificadas nos experimentos analisados, como a complexidade dos processos e a longa duração das etapas executadas, a discussão sobre essa temática vem crescendo nos últimos anos, em busca de métodos mais eficientes e precisos, associados a fluxos de trabalhos otimizados.

PALAVRAS-CHAVE: RSL; mapa de danos; modelagem da informação da construção; HBIM.

¹ Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Arquitetura.

Fonte de Financiamento:
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq

Conflito de Interesse:
Declara não haver.

Ética em Pesquisa:
Declarar não haver necessidade.

Submetido em: 18/03/2024.
Aceito em: 27/09/2024.

How to cite this article:

RAMOS, J. D. S.; GROETELAARS, N. J.; SANTOS, L. C. A. N. Métodos e ferramentas para mapeamento de danos de edificações históricas em BIM: uma revisão sistemática da literatura. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v19, n3, 2024. <https://doi.org/10.11606/gtp.v19i3.222546>



ABSTRACT:

The intervention design in heritage buildings requires recognition of the object in various spheres: historic, artistic, architectural and diagnostic. It is in this last stage that the damage map is produced, a documentation that summarizes in graphic form, the conservation state of architectural surfaces. Mostly, the damage map is produced in drawing editors through orthographic views of the building, in a method that is not very automated nor systematized, allowing errors and ambiguity of information. In consonance with the emergence of many studies, experiments have been conducted to apply Building Information Modeling (BIM) in damage mapping for historical buildings, which can contribute to the visualization, accessibility, and consistency of information related to damage. In this sense, this article presents a Systematic Literature Review (SLR) with the objective of gathering, classifying and discussing the methods and tools that have been used for damage mapping in the BIM context, considering articles available in specific databases, from 2012 to 2023. It can be concluded that even with the gaps identified in the experiments analyzed, such as the complexity of processes and long duration of the execution stages, the discussion on this subject has been growing in recent years, in search of more efficient and accurate methods, associated with optimized workflows.

KEYWORDS: SLR; damage map; building information modeling; HBIM.

RESUMEN:

El proyecto de intervención en edificios patrimoniales requiere el reconocimiento del objeto en los más diversos ámbitos: histórico, artístico, arquitectónico y diagnóstico. Es en esta última etapa cuando se elabora el mapa de daños, documentación que resume gráficamente el estado de conservación de las superficies arquitectónicas. Generalmente, el mapa de daños se elabora en editores de dibujo a través de vistas ortográficas del edificio, en un método poco automatizado y sistematizado, lo que permite errores y ambigüedad en la información. En línea con el surgimiento de varios estudios, se han llevado a cabo experimentos para aplicar el Building Information Modeling (BIM) en el mapeo de daños a edificios históricos, lo que puede contribuir a la visualización, accesibilidad y coherencia de la información relacionada con los daños. En este sentido, este artículo presenta una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL) con el objetivo de recopilar, clasificar y discutir los métodos y herramientas que han sido utilizados para el mapeo de daños en el contexto BIM, considerando artículos disponibles en bases de datos específicas, durante el período comprendido entre 2012 a 2023. Se concluye que aún con los vacíos identificados en los experimentos analizados, como la complejidad de los procesos y la larga duración de los pasos realizados, la discusión sobre este tema ha ido creciendo en los últimos años, en busca de más métodos eficientes y precisos, asociados a flujos de trabajo optimizados.

PALABRAS CLAVE: RSL; RSL, mapa de daños; modelado de la información de la construcción; HBIM.

INTRODUÇÃO

As intervenções no patrimônio arquitetônico requerem estudos prévios minuciosos com o objetivo de reconhecer o objeto em todas as suas instâncias, seja no âmbito da história, com a identificação da cronologia de modificações, e no reconhecimento dos materiais, sistemas construtivos utilizados, como também no diagnóstico, etapa em que é desenvolvido o mapa de danos. A concepção de uma nova construção ou a intervenção em uma edificação histórica fundamentam-se na metodologia do projeto arquitetônico, que visa o reconhecimento profundo da preexistência e seu contexto (lote ou monumento). No entanto, as ações em bens patrimoniais possuem suas particularidades (Freitas, 2012). Desde o surgimento das primeiras discussões do restauro como ciência a partir do século XVIII, fica evidente a complexidade que é intervir em edificações merecedoras de conservação e preservação dos seus materiais, sistemas construtivos, cronologia e história (Kühl, 2007).

Diante das diversas esferas de reconhecimento do objeto que o profissional proponente precisa captar, está o diagnóstico. Essa é uma etapa que envolve um conjunto de estudos que antecedem as ações de conservação e restauro, a partir da utilização de diversos métodos e ferramentas. Tem o objetivo de entender minuciosamente os comportamentos estruturais indesejados e os processos patológicos nos componentes e seus materiais, identificando as causas e os agentes responsáveis (Tirello, 2013).

Um dos resultados formais dessas análises são as peças gráficas, onde são registrados os danos identificados nas edificações, levando à geração do produto chamado no mapa de danos (Freitas; Tirello, 2015). O mapa de danos é um documento síntese, um tipo de representação gráfica que pode ser complementado com fotografias, visando ilustrar rigorosamente os danos da edificação estudada, nos elementos estruturais, sistemas e componentes construtivos (Tinoco, 2009). Essa peça gráfica é resultado da investigação dos danos físicos, realizada através de vistorias no local, de exames laboratoriais e prospectivos, fotografias, tecnologias digitais de documentação arquitetônica e também da expertise do profissional (Costa, 2010).

O mapa tem o intuito de mostrar uma seleção de informações, diferentemente de uma fotografia, que exibe todo seu conteúdo (Menezes; Fernandes, 2013). Os mapas de danos estão ligados a uma representação visual que permite um entendimento imediato sobre o estado de conservação do edifício. Como na cartografia, o mapa de danos é também uma amostragem seletiva e temática, que destaca os danos com codificações sobre a representação da arquitetura, que na prática profissional, é comumente apresentada por meio de desenhos.

Geralmente, os mapas de danos são elaborados no computador através de ferramentas *Computer Aided Design* (CAD) – com o uso de recursos 2D do Autodesk AutoCAD – mas também podem ser encontrados exemplos com o uso de croquis (desenhos à mão livre). Tratam-se de peças gráficas – fachadas, plantas baixas, plantas de piso e plantas de cobertura – associadas às codificações dos danos. Destaca-se que o desenvolvimento de mapa de danos através dos métodos tradicionais apresenta algumas limitações, especialmente no que diz respeito a completude de informações, fluxo de trabalho, automação de processos e análise e interpretação de dados (Conti *et al.*, 2020; Lanzara *et al.*, 2021). Há quase duas décadas, Cavalcanti Neto e Amorim (2006) já ressaltam que a representação bidimensional de mapa de danos em editores de desenho não acompanhava os avanços de levantamentos feitos com técnicas fotogramétricas, além desse tipo de representação dos danos dificultar inter-relacionar as diversas lesões das edificações estudadas.

Visando reduzir esses problemas, alternativas vêm sendo estudadas para aumentar a precisão nos mapeamentos de danos e otimizar os fluxos de trabalho. A tecnologia *Building Information Modelling* (BIM) tem se mostrado promissora para esse tipo de aplicação. O BIM é uma metodologia de trabalho que permite a representação geométrica associada a informações

semânticas em um único modelo, que pode resultar em eficácia da gestão do ciclo de vida da edificação, na colaboração de outros profissionais e no gerenciamento de obras (Pereira, 2015).

Durante a pesquisa, foi possível identificar o trabalho de Anil *et al.* (2013), o artigo mais antigo encontrado sobre representação de danos visando a criação de um banco de dados BIM para auxiliar a etapa de diagnóstico. Mesmo que ainda não voltada para o patrimônio arquitetônico e sim para edificação abalada sismicamente, a pesquisa mostra a necessidade da busca por um novo fluxo de trabalho e o desenvolvimento de produtos, focando não apenas na representação, mas também na informação e no compartilhamento da mesma. Esses autores apresentaram uma pesquisa preliminar para a representação de danos em alvenaria de pedra danificada por um terremoto e a identificação de degradações utilizando nuvem de pontos (Anil *et al.*, 2013). Apesar de uma tentativa inicial, a pesquisa mostrou, há mais de uma década, que a intenção de criar um modelo unificado para identificar avarias, representá-las e enriquecer cada dano com informações semânticas, já era uma possibilidade frente aos avanços tecnológicos encontrados no mercado.

Entretanto, a maioria dos esforços para a representação de edificações históricas em BIM concentram-se na modelagem dos objetos e suas informações, sendo menos frequentes as aplicações no desenvolvimento de produtos que auxiliem a restauração, como por exemplo, a geração de mapas de danos. De acordo com Chiabrando, Lo Turco e Rinaudo (2017), essa fase de estudo do diagnóstico no patrimônio edificado era bastante nova ao se analisar a bibliografia disponível há alguns anos, e, de acordo com a pesquisa recente apresentada neste artigo, os trabalhos continuam em estágios iniciais de investigação e aplicação.

Apesar da representação gráfica das degradações dentro de ferramentas BIM ainda ser um desafio para os restauradores, Chiabrando, Lo Turco e Rinaudo (2017) já apontavam há seis anos que a modelagem tridimensional dos danos pode contribuir e enriquecer o banco de dados de uma edificação, na forma geométrica, gráfica e informacional, apresentando resultados interessantes e promissores para projetos de intervenções futuras. Enquanto o sistema CAD tradicional foca na representação geométrica (bidimensional e/ou tridimensional) do objeto arquitetônico, o BIM se preocupa em associar ao modelo geométrico (3D), às informações semânticas – como material, sistema construtivo, fabricante, marca, descrição do produto, entre outros. Além disso, o uso do BIM permite automatizar a geração de documentos gráficos (cortes, elevações, perspectivas, detalhes), relatórios de desempenho energético e estrutural, análises de conforto ambiental, custos, quantitativos etc. (Tolentino, 2016).

Destaca-se que o uso do BIM para aplicações em edificações existentes, incluindo objetos patrimoniais, é bem mais recente do que sua aplicação em edificações novas. Segundo Santana e Groetelaars (2022), a primeira aplicação do BIM para a representação de edificações históricas citada na literatura se dá pelos autores Murphy, McGovern e Pavia (2007; 2009), quando introduzem o termo *Historic Building Information Modelling* (HBIM). O HBIM é então, uma ampliação da metodologia BIM para representar edifícios históricos de interesse cultural, apresentando-se como um novo sistema de modelagem que tem seus elementos enriquecidos semanticamente (Murphy; McGovern; Pavia, 2009).

Nesse sentido, o HBIM é a representação de um modelo tridimensional atrelado às informações que são necessárias para ações de manutenção, restauro, gestão, conservação, documentação, preservação e também disseminação do patrimônio edificado (Rocha; Tomé, 2020). O termo HBIM pode ser encontrado na literatura como *Historic Building Information Modelling*, *Heritage Building Information Modelling*, *Historic BIM*, *BIM for Heritage*, ou ainda de forma mais genérica como “BIM para edificações existentes” (Santana; Groetelaars, 2022). Entretanto, o “H” da sigla HBIM seria mais corretamente associado ao “*heritage*” (patrimônio) em vez de “*historic*”

(histórico), pois assim o termo se relaciona com as políticas de conservação e preservação voltadas às edificações patrimoniais (Costa *et al.*, 2021).

Portanto, a busca pelo uso do BIM no desenvolvimento de mapa de danos visa não apenas uma representação gráfica adequada, como também uma maneira eficaz de extrair, de modo automatizado, quantitativos, orçamentos, informações sobre a intensidade dos desgastes, estado de conservação de estruturas e dados históricos do modelo, de forma a reduzir equívocos e otimizar tempo nas fases de projeto, planejamento e obra (Lima *et al.*, 2017). Com a diminuição de processos manuais e repetitivos, abrem-se, assim, possibilidades para aumentar o tempo dedicado a decisões projetuais, permitindo melhorar a qualidade das propostas de intervenção.

É importante ressaltar que durante a etapa de análise exploratória da presente pesquisa, foram encontrados dois artigos relacionados à Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com temáticas próximas a esse trabalho (Silva; Cuperschmid, 2019, 2022).

No entanto, destaca-se que o presente artigo tem como objetivo uma ampliação e atualização do período considerado para análise das publicações, bem como apresentar uma abordagem mais específica sobre métodos e ferramentas para mapeamento de danos de edificações históricas em HBIM. O foco desta RSL é a identificação, classificação e discussão de trabalhos que apresentam estudos práticos realizados com ferramentas para a modelagem geométrica (3D) e semântica das feições dos danos adaptadas às superfícies dos elementos construtivos do modelo HBIM.

METODOLOGIA

A pesquisa iniciou-se a partir de uma etapa exploratória, em que foi possível a familiarização com os termos e estudos mais relevantes que correlacionavam o BIM com o mapa de danos de edificações históricas. Esse momento permitiu contribuir para a fundamentação teórica e o desenvolvimento das etapas seguintes da Revisão Sistemática de Literatura. Para a realização desse trabalho, optou-se pela utilização do Parsifal, uma ferramenta específica para RSL, visando melhorar o fluxo de trabalho e a organização das informações. O Parsifal foi escolhido pelos seguintes motivos: ser gratuito; funcionar de modo *on-line*, facilitando a colaboração entre pesquisadores; contemplar diversas etapas da RSL, como planejamento e condução, além de permitir gerar relatórios com os dados registrados na revisão.

Na primeira etapa (planejamento) foi possível preencher todo o protocolo da RSL com os objetivos, critérios PICO (acrônimo para P: população; I: intervenção; C: comparação/controle; O: *outcome*/desfecho), questões de pesquisa, palavras-chave, cadeia de caracteres (*string*) de busca, seleção de fontes, critérios de inclusão e exclusão dos artigos, etc. Na segunda fase (condução) foi gerada uma lista dos trabalhos importados (via arquivos BIBTEXT), foram identificados os trabalhos duplicados nas várias bases, e produzida a relação final para a identificação dos artigos a serem lidos integralmente. Na sequência, os textos foram lidos na íntegra, foram aplicados novamente os critérios de inclusão/exclusão, selecionados os artigos finais da revisão e realizadas as anotações e extrações dos dados.

A definição da cadeia de caracteres para realização das buscas nas bases de dados escolhidas, Web of Science, Scopus, Periódicos Capes e Engineering Village e Science Direct, baseou-se na versão preliminar do protocolo e nos resultados obtidos a partir de processos de calibração dos termos usados. Destaca-se que durante as buscas, as bases de dados foram utilizadas a partir do acesso feito com as credenciais da universidade. A cadeia de caracteres usou palavras-chave (em inglês) junto aos operadores booleanos *AND* e *OR*, e não houve restrição de idioma para a realização das buscas de trabalhos. O primeiro grupo de palavras referiu-se a termos do BIM e HBIM (com variações de palavras ou expressões equivalentes), e um segundo grupo

estava relacionado à temática de mapa de danos. A cadeia de caracteres utilizada nos metadados das bases – título, resumo e palavras-chave dos artigos – foi: (HBIM OR "heritage building information modeling" OR "historic building information modelling" OR "building information modeling") AND (decay OR damage OR "deterioration mapping" OR pathology OR pathologies).

A condução da RSL foi realizada em dois momentos: 13-15 de setembro de 2022, quando foi desenvolvida a maior parte da revisão, e em 1-2 dezembro de 2023, momento de atualização para incorporar os artigos mais recentes do último ano. Durante o processo de testes das buscas nas bases de dados, considerando o recorte temporal de 2010-2022, identificou-se o trabalho de Anil *et al.* (2013). Como já mencionado, esse foi o mais antigo trabalho encontrado sobre essa temática, a partir da aplicação dos critérios de inclusão/exclusão em busca prévia e leitura dos títulos, resumos e palavras-chaves das pesquisas. Diante disso, estipulou-se o ano 2012 como limite do recorte temporal a ser adotado no momento de realização da RSL: janeiro de 2012 a setembro de 2022. A atualização da RSL, realizada em dezembro de 2023, considerou os mesmos parâmetros adotados anteriormente (como cadeia de caracteres, bases de dados e critérios de inclusão/exclusão, etc.), alterando apenas o recorte temporal que passou a ser de setembro de 2022 a dezembro de 2023.

Vale destacar que essa possibilidade de atualização da RSL é uma característica relevante e uma grande vantagem dessa metodologia de revisão sistemática, dada a documentação de todas as etapas de sua realização. Mas para simplificar a apresentação dos resultados da revisão realizada, serão apresentadas, neste artigo, as quantidades totais (somadas) dos artigos encontrados e selecionados nos dois momentos em que esse trabalho foi desenvolvido, que envolve o recorte temporal de 2012-2023.

Tendo isso em vista, foram encontrados inicialmente 1076 resultados, sendo 175 (16%) no Web of Science, 224 (22%) no Scopus, 339 (31%) no Periódicos Capes, 261 (24%) no Engineering Village e 77 (7%) no Science Direct. As listagens dos trabalhos de cada base de dados foram importadas no Parsifal através do formato BIBTEX, e logo os artigos duplicados foram identificados (493 trabalhos subtraídos do total), chegando-se a 583 artigos. Com essa quantidade de artigos que restaram no Parsifal, foram feitas as leituras do título, resumo e palavras-chave (em inglês) dos trabalhos, para aplicação dos critérios de inclusão e exclusão visando a identificação de artigos a serem lidos na íntegra.

Os critérios de inclusão estabelecidos foram:

- Estudos primários que apresentam, de modo detalhado, experimentações práticas sobre o mapeamento de danos de edificações em ferramentas BIM;
- Serão aceitos estudos que apresentam abordagens tanto bidimensionais como tridimensionais para representação das feições dos danos.

Os critérios de exclusão foram estabelecidos da seguinte maneira:

- Trabalhos que se distanciam do campo científico da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO);
- Textos que não abordam a elaboração de mapa de danos ou a documentação/representação dos danos de edificações em BIM;
- Materiais que apresentam somente experimentações de mapeamento de danos em editores de desenho.

Após a etapa de leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos trabalhos listados no Parsifal, 369 trabalhos foram subtraídos, além da exclusão de 34 trabalhos publicados anteriores a setembro de 2022, encontrados na atualização da RSL em dezembro de 2023, visto que não foi

possível filtrar os meses do ano em algumas bases. O trabalho de Lima *et al.* (2017), encontrado ainda na análise exploratória, foi acrescentado manualmente à lista para leitura. Sendo assim, o total dessa etapa resultou em 181 artigos. Desses, 26 artigos não estavam disponíveis para download, resultando em 155 trabalhos selecionados para leitura na íntegra. Por fim, 24 artigos finais foram selecionados para uma análise crítica das experimentações realizadas para mapeamento de danos através do BIM/HBIM. Vale destacar que alguns trabalhos, mesmo comentando sobre a realização de experiências práticas, foram excluídos da listagem final por apresentarem o estudo de maneira bastante resumida, não permitindo a identificação dos métodos/programas adotados de forma adequada. Este foi o caso do trabalho de Anil *et al.* (2013) e mais 23 artigos.

Resumindo os procedimentos metodológicos adotados, pode-se dividir o processo de condução da revisão em sete etapas (Figura 1): (1) busca de artigos nas bases (2) exclusão de artigos duplicados; (3) exclusão conforme critérios a partir da leitura de título, resumo e palavras-chave no Parsifal; (4) exclusão de artigos anteriores a setembro de 2022 (no momento de atualização da revisão em dezembro de 2023); (5) adição de um trabalho identificado na análise exploratória; (6) exclusão de trabalhos não estavam disponíveis para download nas bases de dados adotadas nem em outros sites de publicação acadêmica; (7) exclusão de trabalhos conforme critérios de inclusão/exclusão aplicados durante a leitura na íntegra, para obtenção da lista final de trabalhos a serem considerados na RSL.

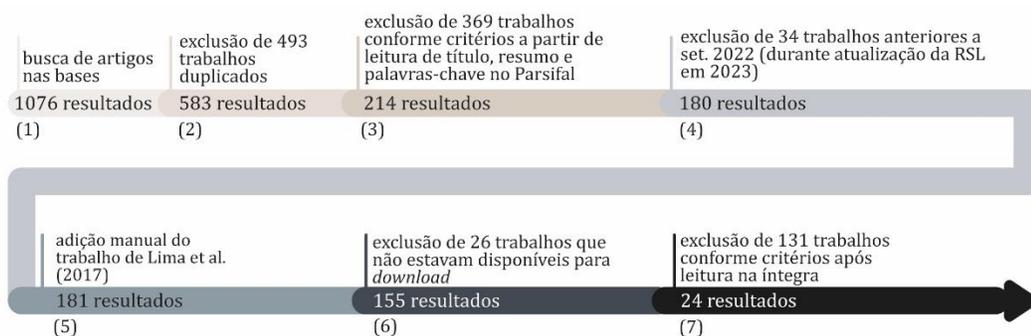


Figura 1. Fluxo de seleção dos artigos da RSL

Fonte: Autores

RESULTADOS

A partir da análise do número de publicações no período em 2012 e 2023 (Número de Publicações por ano Gráfico 1), verificou-se que houve nos últimos anos um crescente interesse na utilização do BIM para o mapeamento de danos de edificações. O número de publicações foi maior no quadriênio de 2020-2023, com 17 trabalhos (70%), em comparação com os quadriênios anteriores: 2012-2015 (0%) e 2016-2019, com 4 trabalhos (30%). O ano com maior número de publicações foi em 2023, com cinco trabalhos publicados.

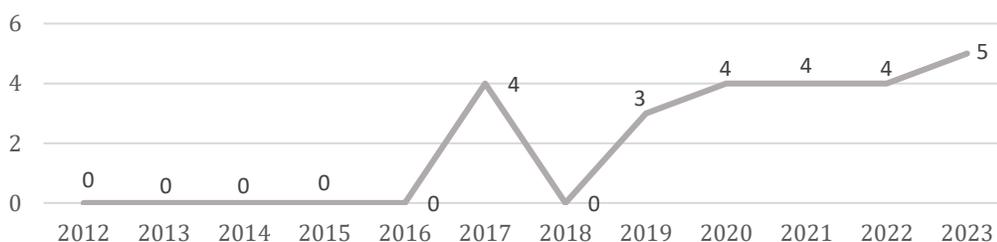


Gráfico 1. Número de Publicações por ano

Fonte: Autores

Dos 24 trabalhos definidos para a RSL, oito são publicações de periódicos e 16 são artigos de anais de eventos. Os principais periódicos que publicaram sobre o tema de pesquisa em questão foi o The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial

Information Sciences, com 12 publicações distribuídas entre os anos de 2017 a 2023, seguido dos periódicos International Journal of Architectural Heritage e Automation in Construction com duas publicações cada, de 2019 a 2022.

A partir de leitura dos 24 trabalhos selecionados pela RSL, foi possível realizar a sistematização das informações, a classificação das abordagens e a discussão dos resultados encontrados. A análise dos trabalhos teve como foco o levantamento de ferramentas e métodos para mapeamento de danos de edificações históricas em softwares BIM.

Conforme os resultados dos trabalhos analisados, foi na última década que surgiram diversos esforços para representar, documentar e gerir modelos BIM/HBIM com informações relacionadas ao estudo de diagnóstico de edifícios. As pesquisas apresentam estudos realizados em edifícios patrimoniais em mal estado de conservação, pontes e construções danificadas por eventos sísmicos. As soluções são as mais diversas: uso de recursos de softwares BIM comerciais, ferramentas específicas, programas BIM combinados com softwares externos, *plug-ins*, ou ainda, a utilização conjunta da inteligência artificial (IA) para auxiliar etapas específicas do mapeamento de danos. Dentre as 24 experimentações, 18 trabalhos mostram aplicações em edificações históricas, dois em edificações comuns, e um artigo em ponte.

A ferramenta BIM mais utilizada para o desenvolvimento de mapas de danos e estudos de diagnóstico foi o Autodesk Revit (82%), às vezes, combinado com outros programas, como Dynamo, McNeel Rhinoceros, Matlab, ou ainda com *plug-ins*, como no caso de ferramentas da Faro. Apenas dois estudos usaram o Graphisoft Archicad e três trabalhos adoraram programas com recursos específicos para o mapeamento de danos.

Diante da diversidade encontrada na literatura, as experimentações para o desenvolvimento de mapa de danos em BIM foram divididas em cinco categorias, conforme a complexidade dos métodos e os tipos de ferramentas adotadas. A proporção de trabalhos de acordo com essas abordagens pode ser vista no Gráfico 2 e Figura 2: (1) abordagens bidimensionais; (2) ferramentas nativas de modelagem dos softwares; (3) famílias paramétricas; (4) uso de programas externos para modelagem geométrica dos danos, e (5) softwares com recursos exclusivos para o mapeamento de danos. As categorias 1 a 3 estão relacionadas a experiências usando apenas programas BIM (Revit ou ArchiCAD), a 4 engloba os trabalhos que incorporam programas externos para modelagem geométrica mais complexa, e a 5, abrange estudos com softwares desenvolvidos especificamente para mapeamento de danos.

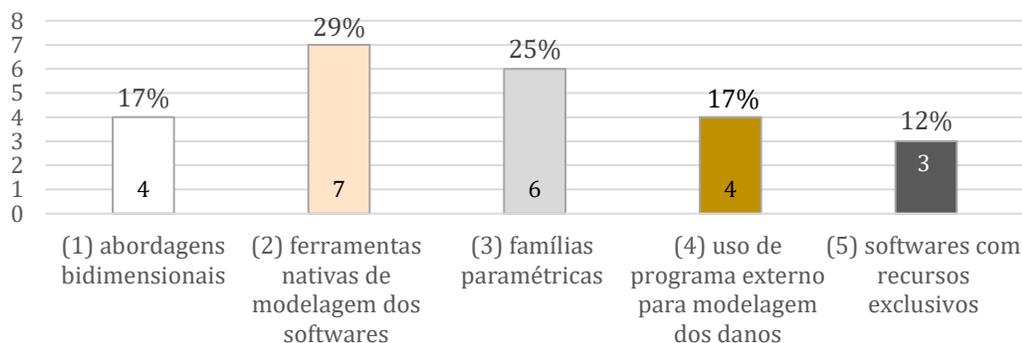


Gráfico 2. Proporção de trabalhos por categoria de abordagem conforme ferramentas e métodos utilizados para o mapeamento de danos em BIM

Fonte: Autores

(1) ABORGAGENS BIDIMENSIONAIS	(2) FERRAMENTAS NATIVAS DE MODELAGEM DOS SOFTWARES	(3) FAMÍLIAS PARAMÉTRICAS	(4) USO DE PROGRAMA EXTERNO PARA MODELAGEM DOS DANOS	(5) SOFTWARES COM RECURSOS EXCLUSIVOS
Bruno <i>et al.</i> (2020); Guida <i>et al.</i> (2021); Santagati <i>et al.</i> (2019) Santagati <i>et al.</i> (2021).	Borin e Cavazzine (2019); Conti <i>et al.</i> (2020); Delpozzo <i>et al.</i> (2022); Garcia-Gago <i>et al.</i> (2022); Chutsen Liao <i>et al.</i> (2023); Solla <i>et al.</i> (2020); Lima <i>et al.</i> (2017).	Chiabrando, Lo Turco e Rinaudo (2017); Ferro, Lo Brutto e Ventimiglia (2023); Malinverni <i>et al.</i> (2019); Lo Turco, Mattone e Rinaudo (2017); Polania <i>et al.</i> (2022); Tan <i>et al.</i> (2022);	Angelone <i>et al.</i> (2023); Brumana <i>et al.</i> (2017); Groux, Queré e Scaramuzza (2022); Ribeiro <i>et al.</i> (2020).	Lanzara <i>et al.</i> (2021); Luig <i>et al.</i> (2021); Scandurra, Luggo (2023).

Figura 2. Trabalhos por categoria de abordagem do mapeamento de danos em BIM

Fonte: Autores

Verifica-se que nos últimos anos foram desenvolvidas várias iniciativas com o uso de recursos próprios das ferramentas BIM, quatro delas através de abordagens 2D (categoria 1 da Figura 2), mais simples e limitadas, visando representar e quantificar os danos através das vistas ortográficas, e 20 com abordagens 3D dos softwares BIM ou por meio de recursos integrados a outras ferramentas (categorias 2 a 5 da Figura 2). As subseções seguintes estão dispostas de acordo com as categorias criadas para agrupar os artigos com experimentações, começando com os recursos bidimensionais e seguindo conforme complexidade dos métodos e ferramentas adotadas nos trabalhos, terminando nos que utilizaram softwares exclusivos para o mapeamento de danos de edificações.

ABORGADENS BIDIMENSIONAIS

Um das formas de mapeamento de danos no BIM encontrada nessa RSL foi a utilização de recursos com representações bidimensionais (quadro 1. Nesse, o mapa de danos foi explorado apenas nas vistas de um modelo BIM. Bruno *et al.* (2020), Guida *et al.* (2021), Santagati *et al.* (2019) e Santagati *et al.* (2021) desenvolveram o mapa de danos no Revit com uso da ferramenta região, específica para o uso em vistas ortográficas, como plantas, cortes e fachadas. Os autores modelaram a arquitetura histórica a partir de levantamentos fotogramétricos e de 3D laser scanning, e com as de nuvens de pontos, extraíram ortofotos para auxiliar o traçado das feições dos danos com a ferramenta região do Revit. De um modo mais simplificado, Bruno *et al.* (2020) também citaram o uso de região e de linhas 2D para representar os danos no modelo BIM.

O uso do Dynamo foi explorado em todas as pesquisas. Em Bruno *et al.* (2020), foi usado ora para a extração de quantitativos, ora para o enriquecimento semântico dos danos e parametrização da geometria. Esses autores mostraram o enriquecimento do elemento região com várias informações, como causas, intervenções, tipo de dano, propagação do dano, a partir das propriedades personalizadas do elemento BIM.

Guida *et al.* (2021) recorreram às normas italianas UNI 11182 e Normal 1/88 para nomear e identificar os problemas patológicos e desenhar as feições em CAD a partir de ortofotos geradas por fotogrametria e escaneamento a laser. Cada camada (*layer* do AutoCAD) representava um dano designado por códigos personalizados. Posteriormente, os elementos 2D eram importados no Revit, e com a ajuda do Dynamo, um script foi criado para automatizar o processo de projeção das linhas 2D dos danos para o objeto BIM, representado pela ferramenta região do software.

AUTORES	MODELAGEM DE DANOS	DETECÇÃO DE DANOS	SOFTWARES USADOS PARA MODELAGEM DOS DANOS
ABORDAGENS BIDIMENSIONAIS			
Bruno <i>et al.</i> (2020) Santagati <i>et al.</i> (2019) Santagati <i>et al.</i> (2021)	Região e linhas 2D	Manual com ortofoto	Revit + Dynamo
Guida <i>et al.</i> (2021)	Região	Manual com ortofotos e uso do AutoCad	Revit + Dynamo

Quadro 1. Pesquisas que apresentam experimentações com abordagens bidimensionais no Revit

Fonte:
Autores

FERRAMENTAS NATIVAS DE MODELAGEM DOS SOFTWARES

Nessa categoria, ferramentas nativas de modelagem dos softwares BIM, pode-se citar os seguintes métodos de trabalho encontrados (Quadro 2): a modelagem no local (Revit), o morph (Archicad), e o recurso de criação de subseções de paredes (Revit) para representar os danos a partir do objeto seccionado. Essa abordagem utiliza recursos no próprio arquivo de trabalho, sem a necessidade da importação de elementos para representar os danos.

Um exemplo disso é visto em Delpozzo *et al.* (2022), que desenvolveram uma alternativa para uso de desenhos dos danos feitos em CAD (com base em ortofotos). Estes foram exportados para o Revit visando a criação de representações tridimensionais e posterior intersecção com os elementos arquitetônicos. Um *script* no Dynamo foi criado para realizar a extrusão automática dos desenhos (contornos dos danos), e com a intersecção, sobrava o elemento da porção interseccionada representativa da área do dano sobre a superfície. Como os danos foram desenhados preliminarmente a partir de ortofotos, ou seja, a partir de vistas ortogonais, uma dificuldade apresentada na pesquisa esteve relacionada à representação dos elementos curvos localizados nos cantos das fachadas, onde se percebeu uma duplicação significativa de parte dos danos, prejudicando a quantificação do problema (Delpozzo *et al.*, 2022).

Uma contribuição a se destacar nesse trabalho foi a intenção de realizar dois levantamentos diagnósticos do edifício em momentos distintos, possibilitando o acompanhamento e a percepção da evolução dos danos no decorrer do tempo. Além disso, a progressão das lesões pôde evidenciar origens e revelar soluções antes não percebidas no mapeamento de danos de um determinado momento. Delpozzo *et al.* (2022) ressaltam que programas como o Revit, Archicad, e outros softwares BIM, ainda apresentam dificuldades para modelar os danos das edificações. Dessa forma, o uso da metodologia HBIM para mapeamento de danos precisa ser pensada não apenas no nível gráfico, mas também como ferramenta de gestão de projeto. Apesar das contribuições de alguns recursos no Revit para a representação dos danos, como: a ferramenta região, a divisão de superfícies, a modelagem no local, a criação de modelos genéricos adaptativos e a indexação de *links* externos, os autores sinalizam que cada um desses possui limitações (Delpozzo *et al.*, 2022).

AUTORES	MODELAGEM DE DANOS	DETECÇÃO DE DANOS	SOFTWARES USADOS PARA MODELAGEM DOS DANOS
RECURSOS NATIVOS DE MODELAGEM DOS SOFTWARES BIM			
Borin e Cavazzini (2019)	Recursos nativos do Revit / não cita a ferramenta	Automatizada através de algoritmos de IA para processamento de fotografias	Revit + Dynamo + algoritmos Feature Pyramid Network (FPN), Regional Proposal Network (PRN), Faster R-CNN, Fast R-CNN
Conti <i>et al.</i> (2020)	Recursos nativos / Modelagem no local (elemento milimétrico)	Manual com ortofoto	Revit
Delpozzo <i>et al.</i> (2022) Garcia-Gago <i>et al.</i> (2022)	Recursos nativos / Modelagem no local (elemento milimétrico)	Manual com ortofoto	Revit + Dynamo
Chutsen Liao <i>et al.</i> (2023)	Criação de subseções de paredes	Fotografia e termografia	Revit
Lima <i>et al.</i> (2017)	Recursos nativos/ Morph (elemento milimétrico) Modelagem no local (elemento milimétrico)	Manual com ortofoto	Archicad Revit
Solla <i>et al.</i> (2020)	Recursos nativos / Modelagem no local (elemento milimétrico)	Automatizada através de algoritmos de IA para processamento de ortofoto	Revit + algoritmos Object-Based Image Analysis (OBIA) e K-Nearest Neighbor (KNN) Developer v9.5

Quadro 2. Pesquisas que apresentam experimentações com recursos nativos de softwares BIM (Revit ou Archicad)

Fonte:
Autores

Conti *et al.* (2020) experimentaram modelar os danos da Ponte III do Aqueduto de Carolina, na Itália, inteiramente no Revit. Foram modeladas superfícies milimétricas para a representação 3D dos danos, tendo como base as ortofotos e as nuvens de pontos em todas as faces da ponte, apresentando um trabalho de diagnóstico de grande porte. Para a representação de cada dano, foi criado um material específico, atribuindo informações como possíveis causas, descrições textuais, fotografias e classificações que puderam ser editadas na janela de informações dos materiais, possibilitando o enriquecimento semântico de cada lesão.

Além disso, a pesquisa cita a extração de quantitativos e a adição de informações relacionadas à restauração, como os procedimentos a serem feitos, as orientações para a reabilitação e os produtos e métodos a serem utilizados. O complemento de informações com desenhos também é possível na medida em que esses produtos ainda são comumente usados em conservação e restauração (Conti *et al.*, 2020). Apesar das dificuldades de modelagem de geometrias de edifícios históricos em softwares BIM, citadas pelos autores, os mesmos destacaram a criação

de metadados associados às representações dos danos no modelo 3D, criando uma “visualização georreferenciada 3D” (Conti *et al.*, 2020, p. 3).

A única experimentação brasileira encontrada na literatura para o desenvolvimento de mapa de danos de edificações históricas em plataformas BIM foi descrita em Lima *et al.* (2017). Esse artigo, identificado ainda na análise exploratória, foi adicionado manualmente à lista de trabalhos relevantes ao desenvolvimento da RSL, por não ter sido encontrado nas bases de dados utilizadas. O trabalho apresentou possibilidades com os softwares Revit e Archicad, realizando, inclusive, comparações entre os métodos utilizados. Diante das atividades executadas, o recurso “*model in place*” ou “modelagem no local” (para criação de modelos genéricos) no Revit e “*morph*” no Archicad foram os que apresentaram melhores resultados, visto que as ferramentas permitiram a delimitação precisa da área afetada de cada avaria, considerando as sobreposições entre os danos, o que garantiu uma efetiva extração de quantitativos. No Revit, percebe-se uma limitação quanto aos modelos genéricos, que podem ser transformados, apenas, em alguns elementos, como paredes, pisos e coberturas. Por outro lado, no Archicad, o *morph* pode ser classificado em qualquer elemento construtivo, e ainda pode retornar à sua classificação original (Lima *et al.*, 2017).

No trabalho de Solla *et al.* (2020), o Revit foi usado para desenvolver o mapa de danos do Mosteiro da Batalha, em Leiria, Portugal. A aquisição de dados para o levantamento do edifício foi realizada com escaneamento a laser e fotogrametria, incluindo o uso de drones para a geração da nuvem de pontos e da ortofoto da fachada principal. O artigo apresentou o processo de extração das ortofotos dos modelos de nuvem de pontos e de texturização de cada plano da porção da fachada estudada no modelo BIM. A partir disso, os danos foram modelados com superfícies milimétricas, com a ferramenta modelagem no local do Revit. Além dessa texturização, restituições fotogramétricas foram feitas com as fotografias termográficas, o que auxiliou a identificação dos danos em conjunto com os dados das ortofotos.

Os autores enriqueceram o modelo com testes de termografia infravermelho e informações associadas aos elementos geométricos, como também com resultados de testes com ondas eletromagnéticas. Com a ferramenta parede, elementos milimétricos foram modelados para servirem de acesso aos resultados dos exames realizados próximo às áreas afetadas. A partir deles, com geometria simplificada, foi possível consultar as informações através de *links* que encaminham aos arquivos externos ao modelo BIM. O modelo com danos foi então, compartilhado na plataforma da Autodesk 360, onde foi possível acessar as informações via navegador *web* ou com o software de visualização da própria plataforma (Solla *et al.*, 2020).

Em busca da identificação automática dos danos na fachada do Mosteiro, aplicou-se a IA para mapear danos em uma ortofoto e realizar a comparação com o mapa gerado manualmente em BIM. Após a geração da ortofoto, aplicou-se o classificador denominado KNN classifier que, após treinamento, pôde identificar automaticamente pátinas e crostas biológicas. Além disso, foi possível quantificar as áreas da fachada que apresentaram problemas, distribuindo a porcentagem em relação à área total. Segundo os autores, a IA atendeu às expectativas de identificação automática dos danos, quando mostrou resultados satisfatórios em comparação à identificação através da inspeção visual (Solla *et al.*, 2020).

Já Garcia-Gago *et al.* (2022) testaram um método mais automatizado. O experimento foi realizado na Praça Forte de Almeida, em Portugal, com o uso do Revit. Posteriormente ao escaneamento a laser, os autores usaram o algoritmo Canupo para segmentar e classificar automaticamente a nuvem de pontos de acordo com a dimensionalidade de cada ponto, permitindo, assim, detectar áreas com fortes perdas de material.

Depois, cada ponto da nuvem de pontos segmentada foi convertido em um modelo genérico em formato de pequena esfera, para então ser projetado na superfície 3D do modelo BIM através de uma rotina específica do Dynamo, permitindo, desse modo, sua correta adaptação

às formas irregulares do modelo (Garcia-Gago *et al.*, 2022). Cada família de dano foi enriquecida com informações: nome do dano, data de inspeção, classes e subclasses, identificação e descrição, causas diretas e indiretas, danos associados, proposta de testes, proposta de reparação, imagens, especificação se é um elemento estrutural ou não, e se influencia na estabilidade do edifício ou não.

Paralelamente, foi realizada outra classificação através da análise radiométrica, que utiliza os valores de refletância captados pelo escâner a laser. Para isso, foi utilizado o algoritmo Fuzzy k-means, que contribuiu com a identificação de crostas brancas, umidade e colônias biológicas. Segundo os autores, ambos os processos de identificação dos danos requereram interação mínima do usuário, e a fase manual se deu no mapeamento dos problemas da abóbada secundária do edifício. A modelagem foi realizada através de famílias que se adaptavam à superfície hospedeira, ou seja, aos elementos construtivos curvos. Essa última foi posicionada de modo a sobrepor a área da lesão visualizada através da nuvem de pontos. Ambos os processos foram integrados no modelo HBIM através de scripts específicos com o uso do Dynamo (Garcia-Gago *et al.*, 2022).

Mais um destaque desse trabalho foi o complemento de informações com o uso de tecnologias imersivas. Os autores modelaram esferas no ambiente 3D do edifício, com modelos genéricos, e assim criaram *links* de acesso a panoramas 360º visualizados no software livre FSP Viewer for 360º, permitindo melhor entendimento e imersão de pessoas envolvidas nas atividades de restauração. Outras formas foram modeladas para a apresentação dos resultados de laboratório, em que permitiram o acesso externo aos testes de Raio-X e boroscópio, por exemplo (Garcia-Gago *et al.*, 2022).

FAMÍLIAS PARAMÉTRICAS

A abordagem tridimensional acontece, também, com o uso de famílias paramétricas customizadas pelo usuário, criadas externamente e importadas ao ambiente de trabalho para representar os danos (Quadro 3). Alguns trabalhos denominaram o objeto representativo do dano como “família adaptativa”, porque se adequam às superfícies do modelo arquitetônico, permitindo flexibilidade na representação de formas mais complexas. Outros artigos citaram o uso de “família paramétrica”, sendo utilizadas em estudos de caso com danos em superfícies mais simples, planas, como em paredes de fachadas.

A utilização do Revit e de famílias paramétricas adaptativas para a representação dos danos foi abordada nos trabalhos de Chiabrando, Lo Turco e Rinaudo (2017), Lo Turco, Mattone e Rinaudo (2017) e Malinverni *et al.* (2019), e mais recentemente, no artigo de Ferro, Brutto e Ventimiglia (2023). A família paramétrica adaptativa foi construída e testada nos trabalhos citados, de modo que os vértices fossem editáveis, possibilitando a representação e a adaptação em formas complexas e curvas, controladas pelo usuário.

A família possuía campos personalizáveis para o enriquecimento semântico, para inclusão de dados, como causas das lesões, origens, *links* externos, imagens e outros. Com isso, foi possível a extração de quantitativos e custos no software BIM. Todas essas pesquisas tiveram como base o levantamento cadastral realizado a partir de escaneamento a laser e fotogrametria visando à criação da nuvem de pontos e ortofotos, que funcionaram como referência para a manipulação do componente adaptativo. A família era então, importada no Revit e posicionada sobreposta ao dano visualizado através da ortofoto; posteriormente, o usuário controlava a quantidade de vértices do elemento e a posição de cada um, objetivando a sobreposição à feição do dano. As cores para a representação de cada dano também eram controladas pelo usuário e, de forma manual, o mapeamento acontecia para o restante do edifício.

Quadro 3. Pesquisas que apresentam experimentações acerca do mapeamento de danos tridimensional em softwares BIM com o uso de famílias paramétricas

Fonte:
Autores

AUTORES	MODELAGEM DE DANOS	DETECÇÃO DE DANOS	SOFTWARES USADOS PARA MODELAGEM DOS DANOS
FAMÍLIAS PARAMÉTRICAS			
Chiabrando, Lo Turco e Rinaudo (2017) Ferro, Lo Brutto e Ventimiglia (2023) Lo Turco, Mattone e Rinaudo (2017) Malinverni <i>et al.</i> (2019)	Família adaptativa	Manual com ortofoto	Revit
Polania <i>et al.</i> (2022)	Família paramétrica	Inspeção visual e manual a partir da nuvem de pontos e malha texturizada	CAD (não cita o software) + Revit + Dynamo
Tan <i>et al.</i> (2022)	Família paramétrica	Automatizada através de algoritmos de IA para processamento de fotografias	Revit + Dynamo

Outros exemplos de mapeamento de danos com software BIM são apresentados em Tan *et al.* (2022) e Polania *et al.* (2022), que fizeram o uso de famílias paramétricas, criadas pelo usuário no Revit, para representar os danos. Vale destacar que esses recursos foram aplicados em geometrias simples, como partes externas planas de um edifício (Tan *et al.*, 2022), e em vigas de concreto armado de pontes (Polania *et al.*, 2022), realidade bem diferente da complexidade geométrica da maioria dos edifícios históricos.

Tan *et al.* (2022) abordaram um complexo processo de levantamento do edifício com fotogrametria aérea e, com o uso de algoritmos de IA, identificaram os danos e sua posição geográfica no modelo. Com as paredes seccionadas do edifício em BIM, através do uso do Dynamo e Python, foi possível extrair as coordenadas dos danos através de cálculos automáticos que envolveram a posição geográfica do drone no momento da tomada fotográfica, a partir das informações EXIF das imagens. Essas referências foram transportadas para o BIM, para depois serem modeladas através de famílias paramétricas.

Polania *et al.* (2022) usaram o Revit para um mapeamento de danos feito inicialmente em CAD, visando melhorar a consulta e o armazenamento das informações. A pesquisa também utilizou o Dynamo, com o objetivo de criar interfaces para o usuário enriquecer o modelo de informações sobre os elementos construtivos e danos, de acordo com a inspeção visual preliminar. Similar a Garcia-Gago *et al.* (2022), o trabalho também fez o uso de elementos esféricos para adicionar informações ao modelo, como a descrição do defeito, gravidade, risco e extensão.

USO DE PROGRAMA EXTERNO PARA MODELAGEM DOS DANOS

O mapeamento também pode ser feito com o uso integrado de programas externos para modelagem geométrica mais complexa dos danos, como o Rhinoceros e o complemento BlenderBIM, associado ao Blender (Quadro 4).

AUTORES	MODELAGEM DE DANOS	DETECÇÃO DE DANOS	SOFTWARES USADOS PARA MODELAGEM DOS DANOS
USO DE PROGRAMA EXTERNO PARA MODELAGEM DOS DANOS			
Angeloni <i>et al.</i> (2023)	Ferramenta de reconstrução de superfície a partir de nuvem de pontos segmentada	Automática com imagens esféricas	Blender + BlenderBIM
Brumana <i>et al.</i> (2017)	Uso de programa externo / Modelagem NURBS	Manual com ortofoto no AutoCAD	AutoCAD + Rhinoceros + Revit
Groux <i>et al.</i> (2022)	Uso de programa externo / Modelagem NURBS	Manual com ortofoto	Revit + Rhinoceros
Ribeiro <i>et al.</i> (2020)	Não cita	Automatizada através de algoritmos de IA para processamento de fotografias	Revit + Dynamo + Navisworks + Matlab

Quadro 4. Pesquisas que apresentam experimentações acerca do mapeamento tridimensional com o uso de softwares BIM associados a programas externos para modelagem dos danos

Fonte:
Autores

Groux, Queré e Scaramuzza (2022) realizaram estudos de diagnóstico no Cairn de Gavrinis, um túmulo de pedras localizado na Ilha de Gavrinis, na França, e propuseram a modelagem da arquitetura e dos danos localizados nas pedras que compõem o monumento. Após confrontar dados históricos, levantamentos cadastrais antigos e escaneamento a laser, a edificação foi, devido à forma complexa das pedras, modelada no Rhinoceros e então exportada para o Revit. Um fluxo similar foi aplicado à modelagem dos danos. Ainda no Rhinoceros, com o auxílio do Grasshopper, os autores importaram uma representação bidimensional dos danos, realizada anteriormente, e projetaram nas superfícies (3D), criando uma representação fidedigna do dano adaptado ao formato irregular de cada pedra. Depois dos danos modelados, eles foram importados no Revit e enriquecidos de informações. Os autores mencionam a indexação de documentos através da criação de parâmetros, que vinculam, através de *links*, outras fontes de dados para apoiar o projeto de restauração. Apesar do sucesso da representação dos danos de forma adaptativa à superfície danificada e do enriquecimento e extração de informações, é importante destacar que se trata de um fluxo de trabalho complexo e demorado (Groux; Queré; Scaramuzza, 2022).

Outro experimento de representação tridimensional dos danos em BIM é apresentado por Brumana *et al.* (2017). Eles também citaram o uso do Rhinoceros, desta vez, na fase de documentação arquitetônica geral da edificação, uso justificado pela facilidade de modelagem de forma complexas com superfícies *Non Uniform Rational Basis Spline* (NURBS). Entretanto, os traçados dos danos foram realizados no AutoCAD, a partir de desenhos preliminares (representação bidimensional), depois exportados para o Revit, para então serem modelados geometricamente, classificados e enriquecidos de informações no ambiente BIM. Após esse processo, foi possível a geração de tabelas contendo diversas informações, dentre elas: quantitativos de áreas afetadas, informações estratigráficas das paredes, resistência térmica, tipo e razão do dano e número de identificação.

Um importante trabalho encontrado foi desenvolvido por Angeloni *et al.* (2023), que utilizaram os recursos de IFC do Blender e o Photoshop para mapear os danos de uma edificação histórica.

Os autores geraram a nuvem de pontos do edifício e, a partir de imagens esféricas 360º editadas no Photoshop com cores para cada dano e cada elemento arquitetônico, os valores *red, green e blue* (RGB) foram projetados na nuvem de pontos com o CloudCompare. Dessa forma, ainda com o CloudCompare, a nuvem de pontos foi facilmente segmentada por objetos arquitetônicos e por danos, e importada no Blender. O complemento BlenderBIM contribuiu para o enriquecimento de informações de cada elemento, criando um modelo que pode ser importado em softwares BIM. No CloudCompare, para cada parte da nuvem de pontos foi gerada uma malha a partir da ferramenta de reconstrução de superfícies “*Poisson Surface*”, e assim, posteriormente no Blender, designada uma classe IFC. Dessa forma, o modelo pode agregar informações e ser importado em ferramenta BIM.

SOFTWARES COM RECURSOS EXCLUSIVOS

Além disso, foi identificado na literatura o uso de programas com recursos específicos para o mapeamento de danos. Lanzara *et al.* (2021), Luig *et al.* (2021) e Scandurra e Luggo (2023) apresentaram soluções em programas que foram criados especificamente para o mapeamento de danos de edificações históricas, como é o caso do Acca Edificius e da plataforma BIM-SIS (Quadro 5).

AUTORES	MODELAGEM DE DANOS	DETECÇÃO DE DANOS	SOFTWARES USADOS PARA MODELAGEM DOS DANOS
SOFTWARES COM RECURSOS EXCLUSIVOS			
Lanzara <i>et al.</i> (2021) Scandurra e Luggo (2023)	Recurso pincel	Manual com ortofoto	Edificius
Luig <i>et al.</i> (2021)	Recurso nativo / não cita qual	Manual com ortofoto	Plataforma BIM-SIS

Quadro 5. Pesquisas que apresentam experimentações acerca do mapeamento tridimensional em plataformas BIM com recursos exclusivos

Fonte:
Autores

Luig *et al.* (2021) propuseram o uso da plataforma BIM-SIS (*Building Information Modeling – Damage Identification System*), resultante de um projeto de pesquisa alemã. O BIM-SIS funciona na *web* e é capaz de identificar os danos e representá-los de forma adaptativa. Foi inicialmente pensado para aplicações em fachadas de pedra, especialmente a natural. Apesar da especificidade de aplicação, por conta de as fachadas de pedra apresentarem formas irregulares, a plataforma pode se expandir para outros tipos de alvenaria. O modelo inicial do edifício pode ser importado no BIM-SIS no formato IFC, e posteriormente realizada toda a fase de traçado das feições dos danos (Luig *et al.*, 2021).

Segundo os autores, a metodologia da plataforma está focada em três pontos: gestão inteligente da informação, métodos baseados no conhecimento, e dados tecnicamente separados e semanticamente ligados. Luig *et al.* (2021) destacaram a possibilidade de uso da realidade virtual e aumentada após a conclusão do mapa de danos, que pode ser visualizada utilizando smartphones. Eles consideram importante esse tipo de apresentação, pois aproximam o usuário do espaço com informações, além de contribuir com a transparência de custos e operação.

Já Lanzara *et al.* (2021) pesquisaram sobre o mapeamento de danos de edificações históricas com o programa Edificius, da ACCA Software. A aplicação desse trabalho se dá na fachada da Igreja de San Pietro in Vincoli, Itália. O Edificius possui uma aba de comandos propositalmente separada do restante, nomeada como “*BIM Heritage*”. Tal observação já traz motivações positivas na intenção de um software BIM apresentar iniciativas na criação de recursos pensados para o uso específico em edificações patrimoniais.

Essa aba apresenta o recurso pincel para o mapeamento de danos sobre o modelo BIM, gerado por meio de escaneamento a laser e/ou fotogrametria. O comando pode ser utilizado na interface 2D, mas também em interação no ambiente tridimensional, seja pelo recurso específico do software para texturização do modelo com ortofotos, seja pelo uso da nuvem de pontos no Edificius (Lanzara *et al.*, 2021). Segundo os autores, a ferramenta pincel possui largura variável controlada pelo usuário, permitindo “pintar” livremente a aérea dos danos, de modo que o nível de detalhe alcance a adaptação na superfície hospedeira. O mesmo acontece na criação de notas personalizáveis, que podem descrever os danos de forma individual ou em conjunto. Tudo isso ocorre no ambiente tridimensional, sendo possível ao operador mapear as informações girando, movendo e ampliando a visualização do modelo no momento em que desejar. Há também a possibilidade de representação de trincas, onde a definição de polígonos fechados não precisa ser feita, sendo representados por linhas (Lanzara *et al.*, 2021).

Todo o enriquecimento semântico do modelo foi desenvolvido em paralelo com a plataforma usBIM.platform, também da ACCA, onde foi possível realizar a consulta e o compartilhamento dos dados entre diferentes usuários com mais facilidade. Ainda sobre essa pesquisa, os autores descreveram que o Edificius atendeu às expectativas relacionadas à redução de tempo para modelagem dos danos e inserção de informações, mesmo para as superfícies complexas. O recurso pincel permitia criar os danos de forma adaptada à superfície, dividindo o elemento em pequenas faces, o que funcionou, por exemplo, para as abóbadas e estuques.

Scandurra e Luggo (2023) também utilizaram o Edificius para mapear danos de um edifício histórico localizado em Nápoli, Itália. O artigo possui autores em comum à Lanzara *et al.* (2021) mas não teve como foco a descrição dos processos para mapeamento de danos da edificação, e sim no compartilhamento IFC do HBIM modelado no Edificius, com os danos mapeados. O trabalho abordou o uso do serviço do dicionário de dados da buildingSMART (bSDD) para enriquecer os elementos do modelo com informações sobre classes, propriedades, relações, material, unidades e classificações, de acordo com a norma ISO 12006-3, e testar o compartilhamento e interoperabilidade do IFC.

DISCUSSÃO

A partir da revisão realizada, verifica-se que existem vários métodos para mapeamento de danos em HBIM, através do uso de diferentes ferramentas, processos e formas de representação das feições dos danos e de enriquecimento semântico. Apesar disso, algumas dificuldades são apresentadas por diversos autores, a exemplo das tentativas de modelagem geométrica (3D) dos danos em casos de superfícies arquitetônicas complexas. Os mapeamentos de danos em fachadas de formas simples, retilíneas, com poucos planos, podem ser facilmente executados. Entretanto, quando os danos são incidentes em superfícies irregulares/complexas, o trabalho torna-se mais difícil e demorado, o que justifica a realização de novos estudos e experimentações para o estabelecimento de um fluxo de trabalho otimizado e adequado às finalidades do modelo.

Quanto ao enriquecimento de informações dos danos, essa é uma etapa mais bem desenvolvida, uma vez que foram identificados vários modos de inserção de informações semânticas sobre elementos já modelados. Este pode acontecer através da criação de campos para a adição de parâmetros dentro dos programas BIM, ou ainda por meio de programas externos. Dados como identificação do tipo de dano, origem, possível causa e grau de severidade são alguns exemplos de informações que podem ser associadas aos elementos que representam os danos.

Além disso, pôde-se observar o uso de alternativas para se acessar dados externos complementares, como nuvens de pontos, malhas triangulares (meshes), *links* de acesso para

documentos, resultados de testes laboratoriais e fotografias. Esses recursos mostraram-se importantes para auxiliar o registro da interpretação dos danos, dos problemas ocasionados na edificação, associando à leitura do modelo HBIM, vários tipos de mídias, permitindo contribuir para o diagnóstico e o compartilhamento de informações entre as várias partes interessadas pela obra.

Devido às limitações de modelagem geométrica (3D), alguns trabalhos simplificam os processos com abordagens bidimensionais. O uso da ferramenta “região” do Revit funciona bem para o enriquecimento semântico, mas a aplicação em vistas ortogonais (plantas baixas e elevações) não contempla o registro nos planos ocultos. Além disso, o mapeamento de superfícies curvas e inclinadas em relação à vista geram quantitativos equivocados, uma vez que a área calculada pela vista ortográfica é diferente da real. A abordagem sobre o uso de recursos nativos de modelagem dos softwares (como o Revit e Archicad), sem o uso de modeladores geométricos externos, foi a mais citada nos trabalhos para o mapeamento de danos em BIM, mostrando uma tendência dos operadores na utilização de ferramentas disponíveis diretamente na interface de trabalho. Já os artigos que utilizaram a modelagem em softwares externos, funcionaram bem quanto à adaptabilidade do dano na superfície hospedeira, por outro lado, ainda são muitos os passos para se obter um bom resultado.

Diante da pesquisa realizada, o uso de famílias paramétricas adaptáveis no Revit mostra-se como um método promissor, mas também exige processos complexos e demorados. Quanto à existência de ferramentas mais específicas para mapeamento de danos, pode-se afirmar que a plataforma BIM-SIS, foi o único sistema BIM encontrado criado exclusivamente para a identificação e representação de danos em fachadas de edificações. A utilização do software Edificius também surpreende com recursos específicos para esse objetivo, mas a aplicação e adaptabilidade da representação dos danos às superfícies de formas complexas requerem mais testes e estudos para comprovação.

Um outro ponto vislumbrado nessa revisão foi o uso da Inteligência Artificial como um dos potentes recursos para a identificação dos danos nas fotografias. Apesar da maioria dos trabalhos que abordam IA não estarem diretamente ligados com o tema de mapa de danos (pois estão sendo testados em edificações danificadas por eventos sísmicos), é notável a possível adaptação do fluxo de trabalho para o desenvolvimento de produtos voltados para a conservação e restauração de edificações históricas. É o caso de pesquisas como Borin e Cavazzini (2019), Ribeiro *et al.* (2020), Solla *et al.* (2020) e Tan *et al.* (2022), que utilizam a IA como suporte para a identificação automática dos danos nas imagens geradas na inspeção.

A junção de recursos de IA para mapeamento de danos vem se tornando alvo de novas pesquisas. Dentre os trabalhos selecionados nessa RSL, apesar de um tema novo, sete deles (19%) utilizaram IA, com incidência a partir de 2019, quando ela aparece em pelo menos uma publicação a cada ano. O uso de IA vem contribuindo principalmente com a identificação automática de diferentes tipos danos a partir do processamento das fotografias tomadas da edificação. Com as marcações automáticas realizadas sobre as fotografias, essas colaboram para o mapeamento de danos em ferramentas BIM (Borin; Cavazzini, 2019). Ou ainda podem servir para o processamento fotogramétrico visando à geração de modelos texturizados com a diferenciação de cores em função dos danos, facilitando a interpretação para modelagem BIM (Ribeiro *et al.*, 2020).

Solla *et al.* (2020), por exemplo, obtiveram resultados interessantes com o uso de algoritmos para detectar, através das propriedades das cores da ortofoto da fachada principal do Monastério de Leiria, Portugal, os tipos de problemas encontrados. Esses recursos foram capazes de contribuir na identificação e classificação de pátinas e crostas biológicas. Os produtos de identificação dos danos que utilizou IA foi comparado com o mapeamento de danos no modelo HBIM, e constatou-se que o resultado se mostra próximo e promissor.

CONCLUSÃO

Diante das limitações das técnicas tradicionais para o desenvolvimento de mapas de danos, alternativas vêm sendo utilizadas para o desenvolvimento desses produtos com a metodologia HBIM. Este trabalho teve o objetivo de apresentar o estado da arte sobre métodos e ferramentas associados ao BIM para o mapeamento de danos em edificações. A principal contribuição do artigo está na identificação, classificação e discussão das estratégias adotadas por diferentes pesquisadores para mapeamento de danos, tomando-se como base pesquisas relevantes disponíveis nas principais bases de dados científicas relacionadas à temática, incluindo as publicadas recentemente. Isso abrange desde a identificação dos programas usados, como os métodos de trabalho adotados em diversas etapas do processo de desenvolvimento dos mapas de danos.

Por meio da leitura e análise dos artigos selecionados na RSL, observou-se a utilização do BIM para o mapeamento de danos tanto no ambiente bidimensional, como no tridimensional. Na abordagem bidimensional de criação de mapa de danos sobre vistas ortográficas (plantas, cortes ou fachadas), fez-se o uso de recursos de desenho como a “região” do Revit. Nos trabalhos que desenvolveram o registro tridimensional dos danos, foram encontradas abordagens com uso de recursos nativos à interface dos softwares BIM, de famílias paramétricas (adaptativas ou não) para representação dos danos, de aplicações com programas externos para modelagem geométrica mais complexa, e a documentação dos danos em sistemas criados exclusivamente para esse fim.

Conclui-se que, apesar do enriquecimento semântico ser um processo facilitado quando o dano está devidamente representado, a modelagem geométrica do problema patológico ainda é uma dificuldade nos softwares BIM. As ferramentas disponíveis nos programas BIM para modelagem de geometrias complexas ainda são insuficientes, por isso, alternativas vêm sendo utilizadas com o enriquecimento de outros tipos de informações (fotos, modelos geométricos, *links* para arquivos externos) para complementação dos dados.

Um recurso novo e promissor encontrado em pesquisas mais recentes é o uso de IA para a identificação automática dos danos em fotografias e ortofotos. Mas, como em vários ramos, a utilização de IA ainda é inicial, e muito aprofundamento ainda é necessário para a sua aplicação de modo mais consistente e efetivo. Ademais, a abordagem de IA em mapeamentos de danos ainda se encontra em etapas preliminares à modelagem dos danos no BIM, não contemplando a automatização da modelagem geométrica propriamente dita dos problemas patológicos. Outra observação refere-se ao uso majoritário do Revit, mostrando a necessidade de estudos em outros softwares BIM disponíveis no mercado.

Em concordância com Conti *et al.* (2020), entende-se que um modelo com danos mapeados pode ser bastante útil na etapa de diagnóstico ou para as futuras inspeções e operações de manutenção. Por fim, mesmo com as lacunas apresentadas, a abordagem HBIM para o mapeamento de danos de edificações históricas vem crescendo nos últimos anos, mostrando cada vez mais relevância, conforme os artigos analisados da RSL no período compreendido entre 2012 e 2023. As diversas experiências realizadas podem contribuir para novas investigações em busca de processos mais eficientes e eficazes para o mapeamento da danos, alinhando precisão e qualidade dos produtos, com fluxo otimizado de trabalho.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

Referências Bibliográficas

ANGELONI, R.; MARIOTTI, C.; PETETTA, L.; COPPETTA, L. Enabling scan-to-bim workflow for heritage conservation and management process. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLVIII-M-2-2023, p. 79-86, 24 jun. 2023. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-M-2-2023/79/2023/>. Acesso em: 15 dez. 2023.

ANIL, E. B.; AKINCI, B.; GARRETT, J. H.; KURC, O. Representation of Damage Information for Post-Earthquake Damage Assessment of Reinforced Concrete Frames. **Computing In Civil Engineering**, Los Angeles (Ca), p. 825-832, 24 jun. 2013. American Society of Civil Engineers. DOI: <http://dx.doi.org/10.1061/9780784413029.103>.

BORIN, P.; CAVAZZINI, F. Condition Assessment of RC Bridges, Integrating Machine Learning, Photogrammetry and BIM. *In*: CIPA INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 27., 2019, Avila. **Proceedings** [...]. Avila: ISPRS, 2019. p. 201-208. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-201-2019>.

BRUMANA, R.; DELLA TORRE, S.; ORENI, D.; PREVITALI, M.; CANTINI, L.; BARAZZETTI, L.; FRANCHI, A.; BANF, F. HBIM Challenge among the paradigm of complexity, tools and preservation: the Basilica di Collemaggio 8 years after the earthquake (L'Aquila). **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLII-2/W5, p. 97-104, 18 ago. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-97-2017>.

BRUNO, S.; MUSICCO, A.; GALANTUCCI, R.; FATIGUSO, F. Rule-based inferencing diagnosis in HBIM. **Archeologia e Calcolatori**, Florença, Itália, v. 31, n. 2, p. 269-280, out. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.19282/ac.31.2.2020.25>.

CAVALCANTI NETO, J. R.; AMORIM, A. L. Simulação digital: modelos digitais fotorealísticos no mapeamento e quantificação de patologias em projetos de restauração. *In*: SIGRADI 2006 - CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE GRÁFICA DIGITAL, 10., 2006, Santiago do Chile. **Proceedings** [...]. Santiago do Chile: SIGRADI, 2006.

CHIABRANDO, F.; LO TURCO, M.; RINAUDO, F. Modeling the decay in an HBIM starting from 3D point clouds. A followed approach for cultural heritage knowledge. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLII-2/W5, p. 605-612, 21 ago. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w5-605-2017>.

CHUTSEN LIAO; NAIWEN CHI; HEUIYUNG CHANG; CHIMING LAI; MENGHSIU CHANG; TACHUN KAO. Research on deterioration diagnosis system for building exterior wall using building information modeling. *In*: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION, 10, 2023, **Proceedings** [...]. [S.l.], v. 10, n. 1, p. FAM-04-1-FAM-04-6, 2023. DOI: [www.doi.org/10.14455/ISEC.2023.10\(1\).FAM-04](http://www.doi.org/10.14455/ISEC.2023.10(1).FAM-04).

CONTI, A.; FIORINI, L.; MASSARO, R.; SANTONI, C.; TUCCI, G. HBIM for the preservation of a historic infrastructure: the Carlo III Bridge of the Carolino Aqueduct. **Applied Geomatics**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 41-51, 20 ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00335-2>.

COSTA, H. A.; SOUZA, M. P.; BALDESSIN, G. Q.; ALBANO, G.; FABRÍCIO, M. Modelagem BIM para registro digital do patrimônio arquitetônico moderno. **Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 49-68, 2021. DOI: <https://doi.org/10.21680/2448-296X.2021v6n1ID21331>.

COSTA, L. G. G. **Cronidas**: Elaboração da base de dados para auxílio em representação de mapa de danos. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2010, 265 p.

DELPOZZO, D.; TRECCANI, D.; APPOLONIA L.; SCALA, B. HBIM and thematic mapping: preliminary results. **The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLVI-2/W1-2022, p. 199-206, 25 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-199-2022>.

FERRO, A.; LOBRUTTO, M.; VENTIMIGLIA, G. M. A Scan-to-BIM process for the monitoring and conservation of the architectural heritage: integration of thematic information in a HBIM model. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLVIII-M-2-2023, p. 549-556, 24 jun. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-m-2-2023-549-2023>.

FREITAS, P. **O desenho e o reconhecimento do objeto histórico**: os princípios metodológicos do projeto de restauro arquitetônico. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

FREITAS, P. M. G.; TIRELLO, R. A. A síntese gráfica no processo de projeto de restauração arquitetônica. **Textos para Discussão**. Olinda, PE: Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada - CEI, 2015. Vol. 60 (2015), p. 3-11. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/1651535>. Acesso em: 11 nov. 2023.

GARCIA-GAGO, J.; SÁNCHEZ-APARICIO, L. J.; SOILÁN, M.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D. HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the master gate of San Francisco in Portugal. **Automation in Construction**, [S.l.], v. 141, 1 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104453>.

GROUX, D.; QUÉRÉ, G.; SCARAMUZZA, P. BIM Applied on the Megalithic Heritage: introduction to the A-BIM and the assets of the model for the diagnostic and the definition of conservation measures. **The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLVI-2/W1-2022, p. 239-244, 25 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-239-2022>.

GUIDA, C. G.; LIMONGIELLO, M.; LORUSSO, A.; SANSEVERINO, A. From 2D to BIM: decay mapping projection via visual programming script. **Esempi di Architettura**, Roma, p. 149-157, 1 dez. 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.53136/979125994616415>.

KÜHL, B. M. Cesare Brandi e a teoria da restauração. **PosFAUUSP**, [S. l.], n. 21, p. 197-211, 2007. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2317-2762.v0i21p197-211>.

LANZARA, E.; SCANDURRA, S.; MUSELLA, C.; PALOMBA, D.; LUGGO, A. di; ASPRONE, D. Documentation of structural damage and material decay phenomena in H-BIM systems. **The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLVI-M-1-2021, p. 375-382, 28 ago. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlvi-m-1-2021-375-2021>.

LIMA, R. H. F.; ARAÚJO, B. G.; PAZ, G.; OLIVEIRA, I.M. Mapa de Danos de Edificações Históricas utilizando a Metodologia BIM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 1.; Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 10., 2017, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: ANTAC, 2017.

LO TURCO, M.; MATTONE, M.; RINAUDO, F. Metric survey and BIM technologies to record decay conditions. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v. XLII-5/W1, p. 261-268, 15 mai. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-w1-261-2017>.

LUIG, K.; MUSTEDANAGIC D.; JANSEN, D.; FUCHS, S.; SCHÜLBE R.; KATRANUSCHKOV P.; HAMDAN A.; FRANZEN C.; HIEMANN K.; SCHERER, R. Towards a building information modeling system for identification and retrofit planning of stone damages. **Digital Heritage. Progress In Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection**, [S.l.], v. 12642, p. 254-261, 14 abr. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350840010_Towards_a_Building_Information_Modeling_System_for_Identification_and_Retrofit_Planning_of_Stone_Damages. Acesso em: 4 out. 2022.

MALINVERNI, E. S.; MARIANO, F.; DI STEFANO, F.; PETETTA, L.; ONORI, F. Modelling in HBIM to Document Materials Decay by a Thematic Mapping to Manage the Cultural Heritage: The Case of “Chiesa Della Pietá” in Fermo. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF GEOMATICS AND RESTORATION, 2., 2019, Milan. **Proceedings** [...]. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-Archives-XLII-2-W11-777-2019>.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, Manuel do Couto. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Parametric Vector Modelling of Laser and Image Surveys of 17th Century Classical Architecture in Dublin. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, ARCHAEOLOGY AND CULTURAL HERITAGE - VAST 2007, 8., 2007, [S.l.]. **Proceedings** [...]. [S.l.]: [s.n], 2007.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic building information modelling (HBIM). **Journal of Building Pathology**, v. 27; n. 4, p. 311-327, 2009.

PEREIRA, J. M. A. F. C. **Uso da tecnologia BIM em patrimônio histórico**: O Convento dos Capuchos da Caparica (Almada). 2015. 195 f. Dissertação (Mestrado) Curso de Arquitetura, Instituto Técnico de Lisboa, Lisboa, 2015.

POLANIA, D. R.; TONDOLO, F.; OSELLO, A.; FONSATI, A.; GAETANI, C.; TRINCIANTI, C.; GAZULLI, D. Digitalization Processes and Bridge Information Modeling for Existing Bridges. **Lecture Notes in Civil Engineering**, [S.l.], p. 944-953, 12 dez. 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-91877-4_108.

RIBEIRO, D.; SANTOS, R.; SHIBASAKI, A.; MONTENEGRO, P.; CARVALHO, H.; CALÇADA, R. Remote inspection of RC structures using unmanned aerial vehicles and heuristic image processing. **Engineering Failure Analysis**, [S.l.], v. 117, p. 104813, nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104813>.

ROCHA, J.; TOMÉ A. Multidisciplinaridade e Acessibilidade na Representação Patrimonial em HBIM. *In*: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 3., 2020, Porto. **Proceedings** [...]. Porto (PT): Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2020. p. 633-642. Disponível em: https://books.fe.up.pt/index.php/feup/catalog/view/978-972-752-272-9/978-972-752-272-9_0633-0642/189-1. Acesso em: 3 jun. 2022.

SANTAGATI, C.; LAURINI, C.R.; SANFILIPPO, G.; BAKIRTZIS, N.; PAPACHARALAMBOUS, D.; HERMON, S. HBIM for the surveying, analysis and restoration of the saint john the theologian Cathedral in Nicosia (Cyprus). *In*: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences ISPRS Archives, 2019, Milão, Itália. **Proceedings** [...]. [S.l.]: International

Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. p. 1039-1046. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-1039-2019>.

SANTAGATI, C.; PAPACHARALAMBOUS, D.; SANFILIPPO, G.; BAKIRTZIS, N.; LAURINI, C.; HERMON, S. HBIM approach for the knowledge and documentation of the St. John the Theologian cathedral in Nicosia (Cyprus). **Journal of Archaeological Science: Reports**, [S.l.], v. 36, p. 102804, abr. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102804>.

SANTANA, E. P.; GROETELAARS, N. J. Normatização Aplicada ao HBIM. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, 7., 2022, São Carlos (SP). **Anais [...]**. São Carlos (SP): Enan-Parq, 2022. p. 295-306.

SCANDURRA, S.; LUGGO, A. di. BSDD to document state of preservation of architectural heritage in open-HBIM systems. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [S.l.], v.2-2023, p. 1427-1434, 26 jun. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-1427-2023>.

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**, Campinas, SP, v. 13, p. e022003, 2022. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v13i00.8663653>.

SILVA, F. B. L.; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e patologias das edificações históricas: uma análise quantitativa da revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E PATRIMÔNIO CULTURAL, 1., São Carlos. **Anais [...]**. São Carlos: USP, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337869977_HBIM_e_Patologias_das_Edificacoes_Historicas_Uma_Analise_Quantitativa_da_Revisao_Sistematica_da_Literatura. Acesso em: 10 ago. 2024.

SOLLA, M.; GONÇALVES, L. M. S.; GONÇALVES, G.; FRANCISCO, C.; PUENTE, I.; PROVIDÊNCIA, P.; GASPAR, F.; RODRIGUES, H. A Building Information Modeling Approach to Integrate Geomatic Data for the Documentation and Preservation of Cultural Heritage. **Remote Sensing**, [S.l.], v. 12, n. 24, p. 4028, 9 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244028>.

TAN, Y.; LI, G.; CAI, R.; MA, J. WANG, M. Mapping and modelling defect data from UAV captured images to BIM for building external wall inspection. **Automation in Construction**, v. 139, p. 104284, 1 jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104284>.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos**: recomendações básicas. Textos Para Discussão: Série 2 - Gestão de restauro, Olinda: Centro de Estudos de Conservação Integrada - CEI, v. 43, 2009, p.1-21.

TIRELLO, R. Diagnósticos de Edifícios Históricos. A Que Servem? A investigação da matéria arquitetônica e seus aportes com o restauro e a arqueologia da arquitetura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO LUSO-BRASILEIRA, 1., 2013, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013. v. 1, p. 1-15. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5721098/mod_resource/content/0/DIAGNOSTICOS_DE_EDIFICIOS_HISTORICOS_A_Q%20%281%29.pdf. Acesso em: 5 ago. 2022.

TOLENTINO, M. M. A. A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 20., 2016, Buenos Aires. **Proceedings [...]**. Buenos Aires: SIGRADI, 2016. DOI: 10.5151/despro-sigradi2016-534.

João Daniel Silva Ramos
Autor principal
joadanielsr11@gmail.com

Natalie Johanna Groetelaars
Supervisora e orientadora
natgroet@ufba.br

Larissa Corrêa Acatauassú Nunes Santos
Supervisora e coorientadora
larissa.santos@ufba.br