SBQP 2023
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Sustentabilidade e Responsabilidade Social no Projeto. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). De 16 a 18 de Novembro, Pelotas, RS, Brasil.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL NA CONCEPÇÃO DO MAPA DE DANOS DE EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS[1]

VANINI, Gustavo N. (1); OLIVEIRA, Fabiana L. de (2)

(1) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, gt.vanini@gmail.com

(2) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de São Paulo, floliveira@usp.br

RESUMO

O mapa de danos é um documento que pode estar associado à conservação de um Patrimônio Edificado constituindo a representação gráfica e a identificação dos danos de uma edificação. Nas últimas décadas, tecnologias digitais em avanço contínuo contribuíram enormemente para que esse registro gráfico seja o mais fiel possível do estado de conservação e das manifestações patológicas identificadas no edifício. Dentre elas destacam-se a Fotogrametria Digital e o 3D laser scanning, por exemplo. Este artigo tem como objetivo apresentar e discutir os benefícios e limitações da Fotogrametria Digital como recurso documental, apresentando resultados preliminares relacionados a confecção do mapa de danos de parte da fachada do casarão que sedia o Museu Republicano Convenção de Itu, SP, datado da segunda metade do Século XVIII. As investigações apontam que o uso do ferramental tecnológico, indica maior precisão e diversidade de informações para as análises e clareza do estado de conservação da edificação, contribuindo de maneira positiva para o trabalho do arquiteto e do urbanista no que se refere ao campo de preservação do Patrimônio Histórico Edificado.

Palavras-chave: *Mapa de Danos. Tecnologias digitais. Fotogrametria. Museu Republicano "Convenção de Itu".*

ABSTRACT

The damage map is a document that can be associated with the conservation of a Built Heritage, constituting the graphic representation and identification of damages in a building. In recent decades, continuously advancing digital technologies have significantly contributed to ensuring that this graphic record is as faithful as possible to the state of conservation and pathological manifestations identified in the building. Among these technologies, Digital Photogrammetry and 3D laser scanning, for example, stand out. This article aims to present and discuss the benefits and limitations of Digital Photogrammetry as a documentary resource, presenting preliminary results related to the creation of a damage map for part of the façade of the mansion housing the Republican Museum "Convenção de Itu," located in Itu, São Paulo, dating from the second half of the 18th century. The investigations indicate that the use of

[1] VANINI, Gustavo N.; OLIVEIRA, Fabiana L. de. Considerações sobre a aplicação da Fotogrametria Digital na concepção do Mapa de Danos de edificações históricas. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2023, Pelotas. **Anais**... Pelotas: PROGRAU/UFPEL, 2023. p. 01-12. DOI https: //doi.org./ 10.46421/sbqp.v3i.3693

technological tools indicates greater precision and a broader range of information for analysis and clarity regarding the conservation status of the building, making a positive contribution to the work of architects and urban planners in the field of Built Heritage preservation.

***Keywords**: Damage map. Digital technologies. Photogrammetry. Republican Museum "Convenção de Itu".*

1 INTRODUÇÃO

O Mapa de Danos, como um produto gráfico que consolida uma série de análises e investigações a respeito das manifestações patológicas presentes em uma edificação, é de extrema importância no auxílio à tomada de decisões assertivas nos processos de intervenção, recuperação e manutenção das edificações, garantindo assim a sustentabilidade no campo da construção.

Apesar da ausência de Normas Técnicas que discorrem em específico sobre a produção do Mapa de Danos, diversas recomendações e estudos no campo apontam para boas práticas em sua confecção e nos processos de investigação e análise que darão origem aos resultados apresentados nas Fichas de Identificação de Danos (FIDs) e consequentemente, nos Mapas, como os estudos apresentados por Tirello e Correa (2012) e os cadernos elaborados por Tinoco (2009).

Tratando-se especialmente dos processos investigativos e de produção dos desenhos arquitetônicos e delimitações representativas das manifestações patológicas sobre esses desenhos, as técnicas tradicionais baseadas na medição direta e com o auxílio de softwares de representação gráfica compõem o uso mais disseminado para essas etapas. Contudo, as tecnologias digitais de varredura espacial, retificação fotogramétrica, termografia, entre outros, têm colocado novas luzes nesses processos e na produção mais eficaz e precisa dos Mapas de Danos.

Nesse sentido, por meio de estudos e testes iniciais e de uma revisão da bibliografia relevante na temática, este trabalho trata de considerações iniciais a respeito das contribuições que essas ferramentas digitais podem trazer para o campo de produção de FIDs e de Mapas de Danos.

2 O MAPA DE DANOS

O Mapa de Danos, de forma geral, pode ser definido como um registro gráfico e detalhado do estado de conservação de uma edificação, ou um recorte espacial dela, onde constam as representações das manifestações patológicas identificadas por meio da compreensão, investigação e análise dos levantamentos cadastrais e visitas de campo.

Ao delimitar essas manifestações, como esclarece Tinoco (2009), o Mapa sintetiza o resultado das investigações nos sistemas e componentes construtivos da edificação. Como documento, possibilita que sejam aplicadas medidas de manutenção, conservação e prevenção (*profilaxia*), além de orientar na tomada de decisões das intervenções que podem ser realizadas na edificação.

A execução acertada dos procedimentos de investigação e anamnese, por meio das técnicas de levantamento, documentação da edificação, inquirição de usuários, entre outros; deve buscar responder a perguntas específicas como: *Isto, o que é? Como é feito? Como funciona? E para compreensão dos danos identificados: Por que isto é ou está assim?* (TINOCO, 2009).

Neste sentido, destaca-se as etapas de levantamento histórico/documental e

cadastral do edifício, com fundamental importância para o conhecimento das intervenções e modificações anteriormente realizadas, que podem estar relacionadas ao surgimento dos danos identificados, além de seu reaparecimento e agravamento de sintomas, caso as condutas de intervenção recomendadas não sejam ideais.

A confiabilidade do Mapa de Danos, está relacionada à sua qualidade, ou seja, a uma investigação minuciosa e detalhada nas etapas de levantamento espacial e das manifestações patológicas identificadas, permitindo uma postura adequada nos projetos de recuperação e restauração, e consequentemente direcionando recursos e mão de obra especializada de acordo com as manifestações identificadas. Dessa maneira, o processo de mapeamento de danos garante que as manifestações sejam mais precisamente identificadas, corrigidas e que suas causas sanadas, possibilitando um processo de conservação eficaz e assertivo, além de sustentável.

Uma edificação, como um organismo vivo, está exposta aos desgastes relacionados ao uso e às intempéries. Dessa forma, as manifestações patológicas identificadas num primeiro momento podem se transformar de forma natural com o passar do tempo, caso as intervenções propostas não sejam realizadas, e mesmo que realizadas, podem surgir novas manifestações devido a diversos fatores. Como enfatiza Barthel et al. (2009), mesmo que altamente completo e eficaz, em um determinado momento o Mapa de Danos deverá ser refeito. Dado esse lapso temporal entre a realização do Mapa de Danos e da elaboração de um projeto de intervenção e conservação de um edifício, deve-se realizar um novo levantamento e mapeamento de danos, até mesmo quando há um intervalo de tempo após as intervenções.

Além disso, Mapas de Danos produzidos em períodos diversos podem ser sobrepostos, contribuindo na compreensão da evolução das manifestações identificadas e possibilitando análises mais bem realizadas das origens e causas do que foi mapeado.

2.1 Fichas de Identificação de Danos

Como produto primário das análises e investigações voltadas para compreensão e delimitação das manifestações patológicas, as Fichas de Identificação de Danos (FIDs) podem ser compreendidas como os documentos de registro gráfico, fotográfico e textual para cada manifestação/dano ou um grupo de danos correlatos identificados na edificação. De forma mais descritiva, as fichas apontam o que está representado no Mapa de Danos, e têm de se apresentar compreensíveis e de fácil manuseio (TINOCO, 2019).

Conforme já apontado, não existem no cenário nacional, Normas Técnicas que sistematizam a produção e modelagem dos Mapas de Danos e das FIDs. Todavia, alguns estudos, dissertações e cadernos técnicos se propõem a apresentar recomendações para os processos de produção das FIDs e dos Mapas.

Como exemplos, podem ser citados os estudos de Tirello e Correa (2012), a dissertação de Carvalho (2018) voltada à fachadas modernistas e os cadernos do Centro de Estudos Avançados da Conservação Integrada (CECI) produzidos por Tinoco, um sobre recomendações básicas para Mapa de Danos, publicação de 2009, e também o de FDIs na modelagem de Mapa de Danos, de 2019.

3 As ferramentas digitais na composição do Mapa de Danos

Tendo em vista o processo de produção dos Mapas de Danos apresentado até aqui, é notável as contribuições acrescidas pelas ferramentas digitais tanto no levantamento espacial e arquitetônico para composição dos desenhos base para esses mapas, como no auxílio na identificação e delimitação das manifestações patológicas sobre esses desenhos.

Tratando-se especificamente da representação desses edifícios, tecnologias de varredura e retificação fotográfica, como o *3D Laser Scanning* e a Fotogrametria DIgital, sobretudo valendo das técnicas de *Dense Stereo Matching* (DSM), têm ganhado destaque e importância nas contribuições para esse campo.

O DSM pode ser considerado a automatização elevada das técnicas fotogramétricas para obtenção de modelos geométricos e demais desenhos representativos com formas mais complexas. Em síntese:

> [...] Seu funcionamento baseia-se na correlação automática de conjuntos de pixels homólogos em diferentes fotos para a geração do modelo geométrico do tipo 'nuvem de pontos' ou da malha triangular irregular (Triangular Irregular Network - TIN), dependendo da ferramenta utilizada. (TOLENTINO, 2018)

A 'nuvem de pontos', como define Groetelaars (2015), é o termo usado para designar o modelo de ponto que é produto primário das varreduras a laser ou fotográficas onde cada ponto é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, e z). Segundo a autora, a principal diferença do *Dense Stereo Matching* em relação à Fotogrametria Digital é a simplificação e automatização do processo de restituição.

Para alguns casos, a Fotogrametria Digital com uso de veículos aéreos não tripulados (UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*), os drones, foi aprimorada ao permitir maior alcance de varredura, segurança nos levantamentos e possibilidade de registro fotográfico de maiores alturas e áreas de difícil acesso (CANUTO, et al. 2017); apresentando-se como opção mais viável em relação ao equipamento de escaneamento a laser. Além disso, possibilita gerar fotografias em alta resolução que auxiliam tanto na representação gráfica quanto na identificação e confirmação de algumas manifestações patológicas apontadas.

De forma sucinta, o processo da Fotogrametria Digital que inclui o DSM pode ser dividido nas etapas de (a) planejamento do levantamento, (b) tomada fotográfica/aquisição de dados, (c) análise e processamento dos dados obtidos e (d) concepção de produtos e exportação. Na última etapa, após o processamento das fotografias, é possível obter diversos produtos, entre eles as ortofotos, que consistem em imagens fotográficas, onde os deslocamentos de perspectivas são corrigidos pelas sobreposições de elementos em diversos ângulos e a partir das quais podemos produzir desenhos 2D com alta fidelidade das superfícies levantadas (GROETELAARS, 2004).

Sendo assim a utilização do método fotogramétrico no DSM é indicado para levantamentos mais rápidos e de baixo custo, de elementos externos de edificações e de detalhes arquitetônicos que apresentam texturas não uniformes; o que se aplica muito bem para o Mapa de Danos. Já para um levantamento completo espacial mais completo de uma edificação, o ideal é o método de escaneamento a laser.

Tendo em vista o processo de produção dos Mapas de Danos apresentado até aqui, algumas experiências puderam contribuir para melhor compreensão das vantagens da aplicação da Fotogrametria Digital com DSM por meio de UAVs. A seguir,

destaca-se um pequeno estudo de caso realizado em um recorte da platibanda da fachada principal do edifício do Museu Republicano "Convenção de Itu", utilizado de parâmetros preliminares nas primeiras experimentações dessas análises, que ainda estão em desenvolvimento.

4 Os azulejos da fachada do Museu Republicano "Convenção de Itu"

O Museu Republicano "Convenção de Itu" (Figura 1), localizado na cidade paulista que leva o mesmo nome da convenção, foi sede da reunião realizada em 1873 que deu origem ao Partido Republicano Paulista. O Museu, que faz parte do complexo do Museu Paulista da Universidade de São Paulo (MP-USP), é sediado num casarão de dois pavimentos, provavelmente erguido no final do Século XVIII.

Ao longo dos seus quase dois séculos e meio de existência o sobrado, construído em taipa de pilão, passou por diversas transformações, sobretudo em sua fachada principal, que já foi composta por sete portas no pavimento inferior e sete janelas no superior e hoje conta com sete portas com pequenas varandas na parte superior e sete janelas com uma porta principal na inferior. Além disso, o pavimento superior da fachada é revestido por 'azulejos de padrão' tipo português[2], assentados por volta de 1867, data inscrita em sua platibanda e que provavelmente indica a finalização de uma grande reforma empreendida por um de seus proprietários, como aponta Zequini (2003).

Posteriormente, na década de 1970, o Museu passa por um grande processo de restauro, mas não são especificadas intervenções na azulejaria da fachada. Contudo, entre 2007 e 2012, o edifício passa por novas reformas, onde se destaca o restauro dos azulejos.

Figura 1 – Fachada principal do MRCI atualmente.



Fonte: Acervo MRCI/MP/USP.

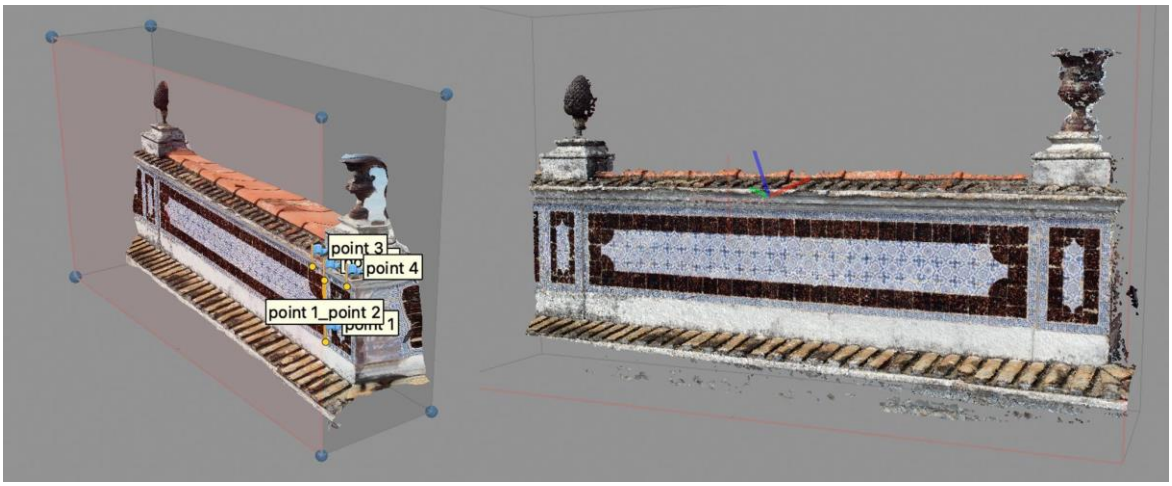
[2] Como define Barbuy et al. (2012), os 'azulejos de padrão' são um tipo de azulejo com motivos decorativos que formam um padrão ao se assentarem conjuntamente. Na fachada do MRCI, pode-se verificar um motivo geométrico principal autônomo e outro vegetal, nos cantos, que só se completa pela junção de quatro azulejos. Além desse azulejo, a fachada também é composta de azulejos de cercadura escuros que cercam o padrão principal, simulando mármore, e azulejos de friso, que recorrem a um motivo da Antiguidade.

Dado esse histórico de transformações, foi realizado um recorte de uma pequena área da azulejaria da platibanda, para que fosse possível tecer análises iniciais e também sistematizar parâmetros para levantamentos futuros com melhor planejamento. Ressalta-se que, para produto final da pesquisa que se encontra em andamento, será realizado o mapa de danos de toda a fachada. Os resultados preliminares podem ser verificados a seguir.

4.1 Estudo de caso

As primeiras etapas para a elaboração do Mapa de Danos do trecho escolhido compreenderam a tomada fotográfica com drone e o processamento dessas fotografias em *software* especializado para elaboração da nuvem de pontos densa e modelo texturizado (Figura 2) que possibilitaram a obtenção de ortofoto com as perspectivas corrigidas e dimensões ajustadas em escala.

Figura 2 – Capturas de tela do modelo texturizado e nuvem de pontos densa.

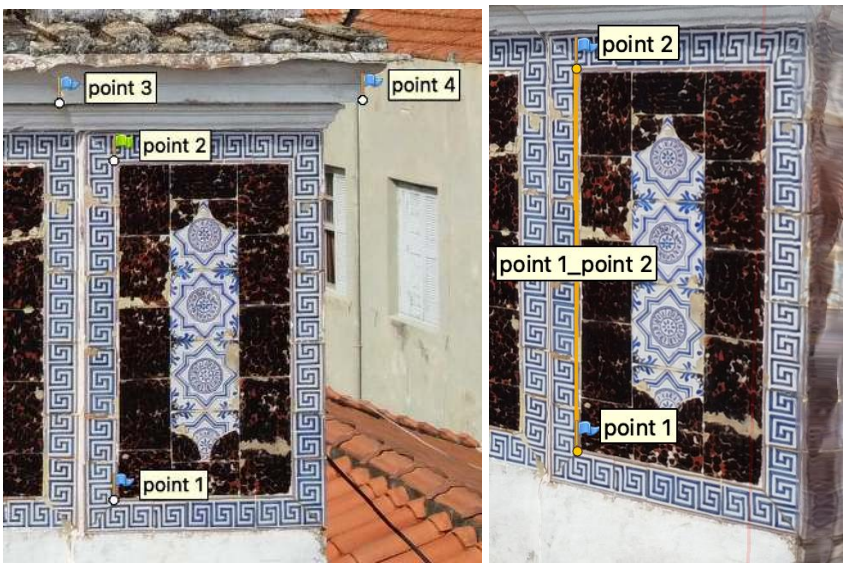


Fonte: Autores.

As fotografias foram realizadas por meio do voo com o drone *DJI Mavic Mini 2 DRDJI017*, em alta resolução (4000x2200 *pixels*), e processadas no *software MetaShapePro 18.0*, em um *MacBook Pro 2016* com placa de vídeo dedicada. As fotos foram inseridas no *software* onde foram realizados, alinhamento, obtenção da nuvem de pontos densa (com aproximadamente 1,5 milhão de pontos), geração de malha em modelo geométrico e texturização dessa malha em alta qualidade (em torno de 45 mil faces e 23 mil vértices).

No modelo gerado, foram inseridos pontos de referência com medidas já conhecidas para escalonamento e retificação dos planos geométricos (Figura 3), possibilitando a obtenção do ortomosaico e ortofoto em alta resolução.

Figura 3 – Capturas de tela dos marcadores referenciais na fotografia e no modelo processado pelo *software*.

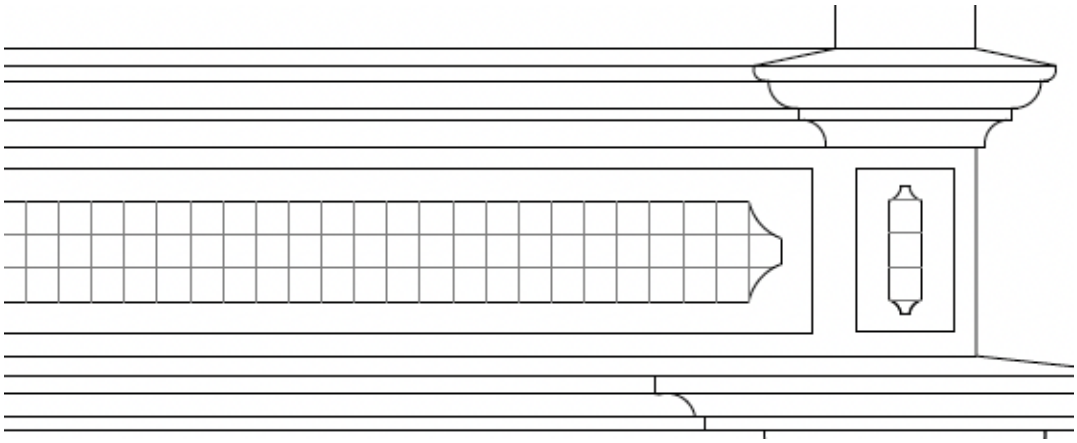


Fonte: Autores.

A partir da ortofoto retificada, gerou-se por meio de decalque, um desenho 2D de parte desse trecho, onde o *software* indicava alta fidelidade da retificação e composição da nuvem de pontos. Para realização do decalque, não foi delimitado um zoom específico da ortofoto, e sim a máxima aproximação possível sem perda de resolução da imagem para realizar o desenho dos detalhes observados.

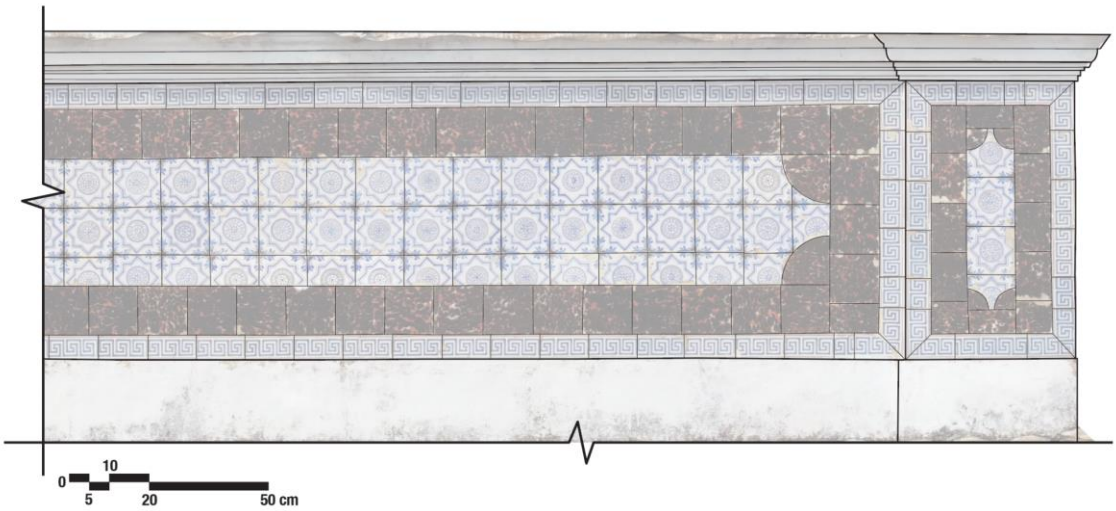
Dessa forma, a alta precisão e resolução permitiram um desenho com elevado nível de detalhamento em escala reduzida, se comparado ao último desenho de base que consta na Superintendência do Espaço Físico (SEF) da USP (Figuras 4 e 5), onde é possível notar as diferenças nas faixas ornamentais superiores ao azulejamento, na base inferior e também nas proporções entre os azulejos; o que já indica como a Fotogrametria Digital viabiliza levantamentos mais confiáveis, sobretudo em áreas de acesso mais restrito.

Figura 4 – Elevação do trecho analisado como consta nos registros atuais do edifício.



Fonte: Acervo SEF-USP.

Figura 5 – Elevação do trecho analisado sobreposto à ortofoto gerada por meio de *software*.



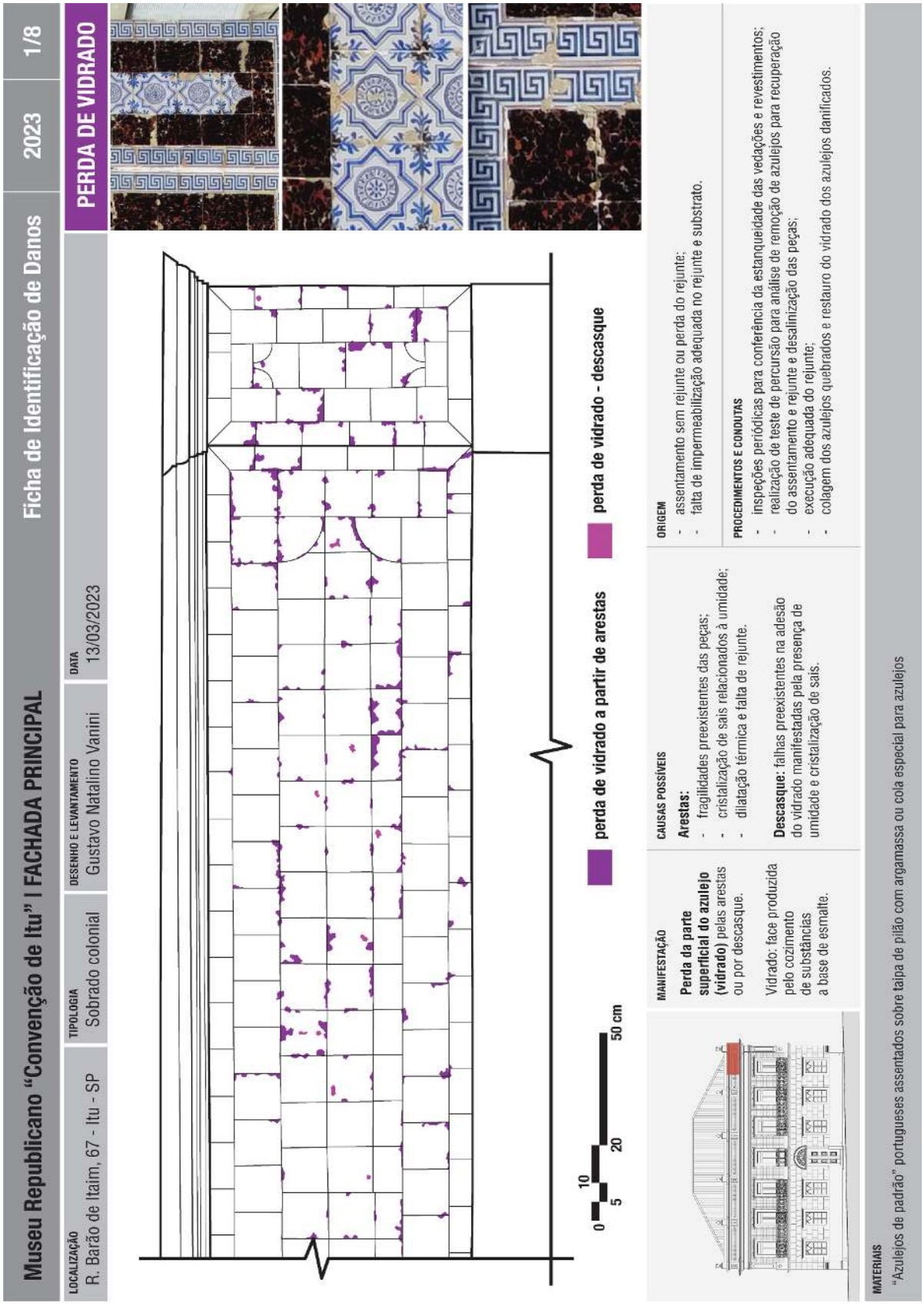
Fonte: Autores.

O decalque sobre a ortofoto, além de propiciar o desenvolvimento do desenho 2D do trecho estudado mais fiel à realidade, também permitiu a delimitação das manifestações patológicas de forma muito mais precisa e bem delimitada, como pode ser observado na FID da Figura 6, que demarca as áreas onde foi identificado a perda de vidrado dos azulejos.

No caso estudado, de acordo com os estudos de Assunção (2019) em análise de manifestações patológicas para revestimentos desta tipologia, a perda de vidrado pode se dar, a partir das arestas ou por descasque - onde se apresenta em formatos circulares em diferentes regiões do azulejo. Para ambos os danos, podem ser atribuídas diversas causas a serem analisadas de acordo com os materiais, demais manifestações e histórico do edifício. Entre essas possíveis causas, podem ser citadas as fragilidades presentes nos azulejos adquiridas durante sua manufatura, as falhas da adesão do vidrado no próprio azulejo, a cristalização de sais em razão da umidade e a dilatação das peças com a falta de rejunte no assentamento.

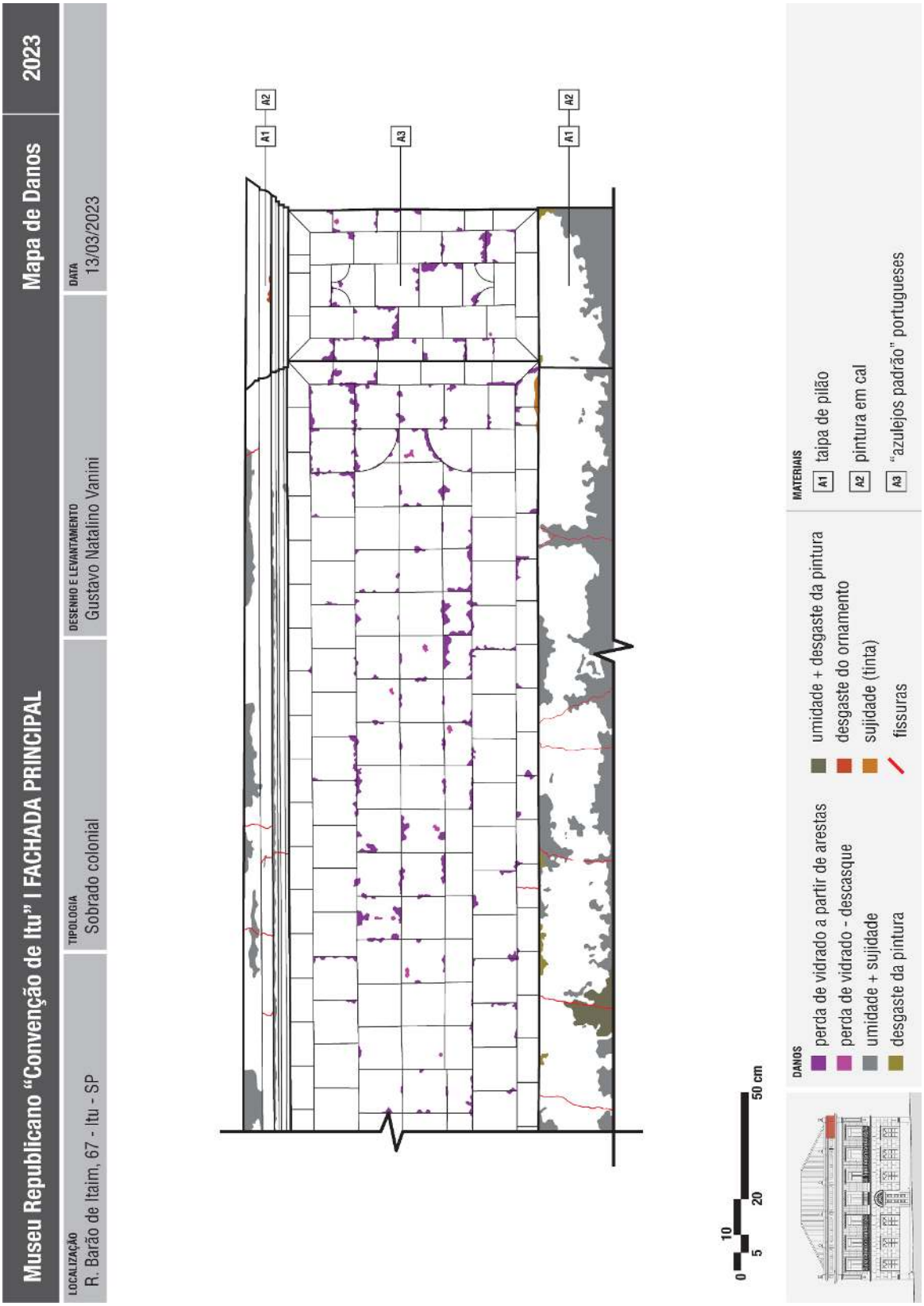
Além da perda de vidrado nos azulejos, outros danos também foram verificados. Como pode ser observado na Figura 7, foram identificadas manifestações de fissuras, umidade, sujidades, desgaste de pintura, entre outros. Ou seja, os processos até então descritos possibilitaram não somente uma representação detalhada da arquitetura, mas também das manifestações patológicas até então presentes nas superfícies levantadas.

Figura 6 – Ficha de Identificação de Danos correspondente a perda de vidrado das peças.



Fonte: Autores.

Figura 7 – Mapa de Danos elaborado por meio de ferramentas digitais para o trecho estudado.



Fonte: Autores.

5 CONCLUSÕES

Como é possível observar, o processo de produção do Mapa de Danos é primordial no entendimento, classificação e demarcação das manifestações patológicas presentes em uma edificação. Sobretudo quando tratamos de bens patrimoniais de valor histórico, a elaboração de um mapeamento efetivamente rigoroso contribui para diagnósticos mais precisos dos responsáveis por análises e por elaborar propostas de intervenções, restauro e recuperação dessas edificações.

Procedimentos como esses, também auxiliam que as causas e procedências dessas manifestações possam ser tratadas e até mesmo tratadas, o que além de recuperar um estado precedente de qualidade da edificação, podem reduzir ou até mesmo contribuir para que algumas dessas manifestações patológicas não reapareçam.

Nesse contexto, é evidente a contribuição que as ferramentas digitais podem oferecer para que as atividades de levantamento cadastral e de delimitação das áreas afetadas sejam mais precisamente realizadas. Como já apontado, o rigor é fator fundamental para o mapeamento de danos.

Analisando os resultados preliminares obtidos por meio do estudo de caso apresentado, verificou-se que para algumas situações a escala de levantamento opera na casa dos detalhes que chegam a pequenas unidades de medida. Para tanto, metodologias como a Fotogrametria Digital tornam-se aliadas por possibilitarem a representação detalhada de alguns elementos, como consta no estudo apresentado. Ao comparar resultados de levantamento manual com a fotogrametria, como nas Figuras 4 e 5, as diferenças em diversos pontos torna-se ainda mais clara.

Contudo, não se deve cair no equívoco de que as ferramentas por si só forneçam respostas diretas para esses processos. As contribuições das análises dos agentes envolvidos no levantamento, processamento das informações obtidas, investigações e diagnósticos é essencial para resultados precisos.

É importante salientar que o processo descrito, além da ortofoto utilizada para a obtenção dos produtos apresentados, também gera outros produtos como 'nuvem de pontos' e modelo de malha geométrica, passíveis de utilização em outros campos de atuação de modelagem, projeto, intervenção e manutenção; possuindo múltiplas utilidades e reforçando a constante evolução do campo de estudos das metodologias digitais para levantamento arquitetônico, sem esgotar as possibilidades investigativas das contribuições que essas ferramentas podem dar aos trabalhos que envolvem a preservação e manutenção de nossas edificações.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, Kevin A. **Análise de manifestações patológicas de revestimento em fachada de edificação histórica: estudo de caso no município de Estância.** Monografia (Graduação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS. Estância, 2019.

BARBUY, Heloisa et al. Azulejos: Preservação, exposição, conhecimento. **Museu Republicano "Convenção de Itu",** 2012.

BARTHEL, C.; LINS, M.; PESTANA, F. O papel do mapa de danos na conservação do patrimônio arquitetônico. *In*. **I Congreso Iberoamericano y VIII Jornada "Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio"**. La Plata, Buenos Aires, Argentina. 2009.

CANUTO, C. L.; MOURA, L. R; SALGADO, M. Tecnologias digitais e preservação arquitetônico:

explorando alternativas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016 . Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647456> Acesso em: 04 jul. 2021.

GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de "nuvens de pontos": estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015**. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GROETELAARS, N. J. **Um estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. 2004. 257 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

TINOCO, J. E. L. Mapa de Danos - Recomendações básicas. Volume 43. **CECI**, Olinda, 2009.

_____. Ficha de Identificação de Danos FID na modelagem de um Mapa de Danos. **Textos para discussão.** Volume 65. CECI, Olinda, 2019.

TIRELLO, R. A.; CORREA, R. H. Sistema normativo para mapa de danos de edifícios históricos aplicado à Lidgerwood Manufacturing Company de Campinas. *In*: **VI Colóquio Latinoamericano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial.** São Paulo: Centro Universitário Belas Artes de São Paulo, 2012. v. 1. p 44-26.

TOLENTINO, Mônica M. A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do patrimônio arquitetônico**. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, 2018.

ZEQUINI, Anicleide. O sobrado da Convenção de Itu na antiga Rua do Carmo (atual Rua Barão de Itaim): uma pesquisa documental. **Anais do Museu Paulista**, São Paulo, v.10/11, p. 197-213, 2003.