

BIM em intervenções de conservação e de reabilitação do património: Uma aplicação ao Palácio Nacional de Sintra

BIM in heritage conservation and rehabilitation interventions:
An application to the National Palace of Sintra

Rita Machete
Márcia Godinho
Madalena Ponte
Rita Bento
Ana Paula Falcão
Alexandre Gonçalves

Resumo

Este artigo descreve o desenvolvimento de um modelo H-BIM (Heritage Building Information Modelling) e a sua utilização num contexto de conservação e reabilitação do Palácio Nacional de Sintra. O seu levantamento geométrico foi realizado com base em nuvens de pontos recolhidas a partir de um laser scanner e de um drone. As decisões sobre o nível de detalhe e a aplicação da modelação paramétrica para os estilos arquitetónicos existentes foram cruciais para se obter um arquivo digital para gestão de informação e apoio a projetos de conservação e reabilitação. O modelo H-BIM criado definiu as propriedades dos elementos construtivos e estruturais como atributos, uma vez que é possível estabelecer uma relação direta entre os elementos BIM individuais e os dados coligidos. Assim, o modelo 3D apoia simultaneamente as análises sísmicas, fornecendo parâmetros-chave, e incorpora os seus resultados como atributos, permitindo um fluxo de informação contínuo, realçando os recursos do BIM no apoio à gestão do património construído.

Abstract

This paper describes the development of an H-BIM model (Heritage Building Information Modelling) and its use in a context of conservation and rehabilitation of the National Palace of Sintra. Its complex geometry was acquired with terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicle techniques. Decisions about the level of detail and the application of parametric modelling to existing architectural styles were crucial to obtaining a digital database with extensive use within heritage management activities and rehabilitation projects. The H-BIM model defined the properties of the construction and structural elements as attributes since it is possible to establish a direct relationship between the individual BIM elements and the collected data. In this way, the model developed simultaneously supports the seismic structural analysis, providing key parameters, and incorporates its results as attributes, allowing a coherent and continuous workflow and highlighting BIM resources as a useful tool to support heritage management built.

Keywords: H-BIM / Laser scanner / Drone / Avaliação sísmica / Reabilitação / Palácio Nacional de Sintra

Palavras-chave: H-BIM / Laser scanner / Drone / Seismic assessment / Rehabilitation / National Palace of Sintra

Rita Machete

CERIS, Instituto Superior Técnico,
Universidade de Lisboa, Portugal
rita.f.machete@tecnico.ulisboa.pt

Márcia Godinho

CERIS, Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa, Portugal
marcia.godinho@gmail.com

Madalena Ponte

CERIS, Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa, Portugal
madalenaponte@tecnico.ulisboa.pt

Rita Bento

CERIS, Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa, Portugal
rita.bento@tecnico.ulisboa.pt

Ana Paula Falcão

CERIS, Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa, Portugal
ana.p.falcao@tecnico.ulisboa.pt

Alexandre Gonçalves

CERIS, Instituto Superior Técnico
Universidade de Lisboa, Portugal
alexandre.goncalves@tecnico.ulisboa.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

MACHETE, R. [et al.] – BIM em intervenções de conservação e de reabilitação do património: uma aplicação ao Palácio Nacional de Sintra. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 13. ISSN 2183-8488. (julho 2020) 55-62.

1 Introdução

A preservação e salvaguarda do Património Cultural Construído (PCC) é uma preocupação permanente das instituições. O PCC representa um valor inestimável na definição de identidade cultural e, portanto, é da maior importância ter recursos e ferramentas para apoiar a sua manutenção de maneira eficiente. Para documentar os aspetos importantes relacionados com a manutenção de edifícios ou locais patrimoniais, é estratégica a existência de uma base de dados completa e coerente, capaz de atender a solicitações de exigência de informação. A conservação do património arquitetónico dos edifícios e a sua manutenção e gestão são tarefas complexas, pois resultam de eventos históricos, diferentes influências arquitetónicas, mudanças de propriedade e transformações ao longo do tempo [1]. Assim, a aplicação da metodologia BIM (*Building Information Modelling*) revela-se importante como uma abordagem integrada ao design, representação, produção e gestão do ambiente construído na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) [2]. De facto, a integração do BIM com as dimensões de construção e gestão de edifícios pode ser enquadrada num diagrama conceptual de sete níveis, estendendo a representação geométrica 3D: o 4D BIM amplia a capacidade do modelo para incluir atividades de planeamento ou simulação; o 5D BIM permite considerar os custos de adicionar ou alterar elementos construtivos; o 6D BIM está relacionado com a sustentabilidade, incluindo a análise do ciclo de vida dos componentes do edifício; e o uso do 7D BIM é eficaz em atividades de gestão de operações e de instalações, como a programação de atividades de manutenção preventiva ou o planeamento de emergências ([3], [4]). Estes níveis de informação enriquecem o modelo de base paramétrica virtual e ampliam a sua aplicabilidade como plataforma colaborativa [5].

A metodologia BIM está bem estabelecida para edifícios novos, mas não para edifícios existentes, em particular para os que pertencem ao PCC. Para este tipo de estruturas a implementação do BIM (habitualmente designada por H-BIM, *Heritage Building Information Modelling*) enfrenta dificuldades ou desafios adicionais, relacionados, por exemplo, com a geometria complexa da maioria dos edifícios e com a necessidade de estabelecer um modelo geométrico que se adapte ao modelo paramétrico usado pela maioria das ferramentas BIM. Outra dificuldade está relacionada com a necessidade de representar as alterações registadas ao longo da história dos edifícios, para os quais surge a necessidade de ter um modelo robusto que lide com a evolução temporal (*i.e.* objetos que mudam de forma, função, atributos ou posição). Além disso, qualquer implementação de BIM no contexto PCC está fortemente relacionada com o objetivo para o qual foi desenvolvida, incluindo especificidades e capacidades relacionadas à manutenção comum, ativos históricos ou suporte a estudos específicos, para os quais é obrigatória uma abordagem multidisciplinar.

Este artigo descreve o desenvolvimento de um modelo BIM 3D e a sua utilização num contexto de conservação e reabilitação do Palácio Nacional de Sintra (PNS) que permite um fluxo de trabalho coerente e contínuo, enriquecido pelo BIM e base de dados associada, como uma ferramenta útil de suporte à decisão na gestão do PCC. O PNS (Figura 1), localizado no centro histórico da vila, foi edificado e alterado ao longo de vários séculos tendo acompanhado

vários reinados: D. Dinis, D. João I e D. Manuel I. O PNS apresenta uma estrutura muito complexa, composta por vários edifícios de alvenaria construídos em estilos arquitetónicos distintos.



Figura 1 Vista superior do PNS

O levantamento geométrico do Palácio foi realizado com base em nuvens de pontos recolhidas a partir de um *laser scanner Faro Focus S 70* e de um drone *Topcon Falcon 8+*. Para a modelação 3D do Palácio, uma estrutura muito complexa composta por vários edifícios de alvenaria construídos em estilos arquitetónicos distintos, utilizou-se o software *Autodesk Revit®*.

O sistema H-BIM desenvolvido [6] inclui um modelo 3D que facilita a leitura espacial do património construído, capaz de representar a arquitetura sofisticada e diversificada do Palácio e interagir com o *software* de análise estrutural, constituindo assim um recurso valioso não apenas para a manutenção e gestão do edifício, mas também para arquivar as propriedades principais estruturais e

construtivas, essenciais para a avaliação sísmica do edifício e para o dimensionamento de eventuais intervenções de reabilitação. A solução desenvolvida destaca o papel da documentação na conservação, reabilitação e gestão do PCC, fornecendo um fluxo de informação bidirecional da estrutura ao nível da definição e atualização da base de dados, da modelação e da resposta estrutural. A Ala Manuelina, no lado leste do palácio, uma parte relevante do edifício, foi a escolhida para descrever e ilustrar os procedimentos seguidos. Este modelo foi posteriormente atualizado com o modelo de todo o edifício definido para fins de gestão.

2 H-BIM do Palácio Nacional de Sintra – Metodologia

2.1 Palácio Nacional de Sintra

O Palácio Nacional de Sintra, estrutura complexa composta por vários edifícios de alvenaria, é um dos mais antigos palácios existentes em Portugal, assente em fundações árabes. O Palácio apresenta uma presença especial na paisagem cultural da vila de Sintra, classificada como Património da Humanidade pela UNESCO em 1995, principalmente devido às suas duas chaminés icónicas. Numa mistura das culturas árabe e cristã, a construção do Palácio evoluiu ao longo de várias eras, tornando-se num dos raros palácios medievais que chegou aos nossos tempos praticamente intacto, preservando a sua autenticidade. Sobreviveu ao terramoto de 1755, apesar de na altura ter sido necessária a reconstrução de pequenas partes, e ao terramoto de 1969, que causou alguns danos visíveis e assentamentos dos pavimentos no edifício Bonet (pertencente à zona mais antiga do Palácio).

A gestão do Palácio foi entregue em 2012 à empresa Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A. (PSML), cuja principal missão é salvaguardar e realçar o património natural e construído, o que envolve a sua conservação, reabilitação e manutenção.

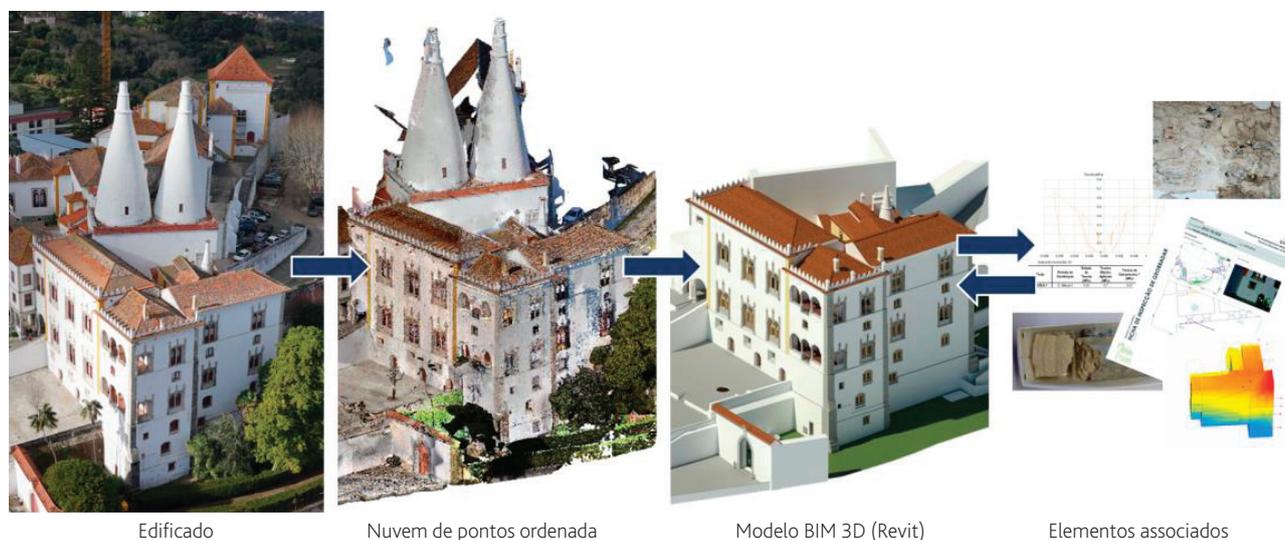


Figura 2 Desenvolvimento do modelo H-BIM, etapas principais

2.2 Metodologia

Para o desenvolvimento do modelo H-BIM destacam-se três passos principais, esquematicamente representados na Figura 2. O processo inicia-se com os levantamentos por nuvem de pontos com recurso à *tecnologia laser scanning* e à fotogrametria aérea (drone com câmara fotográfica acoplada). Posteriormente procede-se ao tratamento dos dados obtidos em campo, de forma a obter nuvens de pontos ordenadas. Por fim, o modelo H-BIM é criado a partir das nuvens de pontos obtidas e recorrendo ao *software* Autodesk Revit®. Neste modelo, pode-se incluir elementos associados, informação gráfica e não gráfica, atualizável sempre que necessário. A descrição detalhada dos diferentes passos é feita nas secções seguintes.

2.3 Aquisição de dados

No início do projeto, os dados digitais disponíveis para apoiar as atividades de gestão no palácio consistiam em desenhos de AutoCAD, com plantas e cortes, dos diferentes edifícios do PNS, com muitas imprecisões. Ficou claro para os gestores do PNS que era inevitável uma nova metodologia de documentação de dados para conhecer a geometria e poder preparar uma base de dados fiável e abrangente. Para isso, foi claramente definido o objetivo de definir um modelo BIM, interoperável com uma grande variedade de utilizadores da equipa de gestão do palácio, que incluía engenheiros, arquitetos, historiadores e arqueólogos.

Os requisitos foram definidos para incluir, além da geometria, dados de atributos a serem atribuídos a cada elemento do modelo. Os atributos que podem ser considerados são de vários tipos, por exemplo documentação histórica, descrição de materiais, etapas de construção, análise estrutural, outros aspetos tecnológicos e outras informações de outras inspeções, como testes experimentais *in situ*. Assim, dois tipos principais de dados podem ser armazenados ou vinculados ao H-BIM: dados geométricos e de atributos.

2.3.1 Dados geométricos

O levantamento geométrico de todo o palácio foi realizado com base em nuvens de pontos recolhidas a partir de um laser Faro Focus S 70 e de um drone Topcon Falcon 8+ (UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) – Figura 3.

Foi realizado um total de 1397 varrimentos *laser scanning* e 13 voos com UAV para o levantamento total do palácio e locais do ambiente circundante, incluindo 6772 fotografias recolhidas, das quais 1478 com o UAV.

Para a Ala Manuelina foram utilizadas 420 estações de varrimento, distribuídas nos 9 níveis do edifício, o que correspondia a 95 espaços (salas, jardins externos, pátios) e locais do ambiente circundante. Isso permitiu obter uma nuvem de pontos com 2636983690 pontos. As digitalizações em salas visitáveis internas, salas com pormenores de interesse e áreas externas incluem fotografia colorida, enquanto os demais espaços internos (por exemplo, salas de armazenamento) foram digitalizados sem cor, resultando em uma nuvem de pontos em escala de cinza. As imagens em cores permitem detetar facilmente pormenores (por exemplo, fendas nas paredes), no entanto leva muito mais tempo a sua obtenção. O parâmetro de qualidade do varrimento, que é simplesmente o número de repetições de medição para cada ponto, foi definido como três ou quatro, dependendo do tamanho da sala capturada em cada estação de varrimento.

Para realizar o levantamento geométrico de todo o palácio e suas fachadas, foi necessário programar os diferentes locais das estações de varrimento, levando em consideração o campo de visão de cada uma e a sobreposição necessária com as estações anteriores e seguintes, para permitir a reconstrução da geometria 3D. A localização precisa das estações de varrimento e a sua quantidade foram definidas para evitar a ocorrência de áreas ocultas, considerando também que o instrumento poderia levantar a área ao seu redor dentro da faixa máxima predefinida. No estágio seguinte

(1mm / 70m)



Figura 3 Equipamento usado para o levantamento geométrico do PNS: laser Faro Focus S 70 (esquerda); drone Falcon 8+ (meio); nuvem de pontos gerada (direita)

do processo, denominado co-registo, as nuvens de pontos de varrimento sucessivas são combinadas em um sistema de referência de coordenadas coerente através da identificação de recursos homólogos (por exemplo, pontos de canto de objetos de arquitetura, planos, marcas ou quadros de verificação) entre varrimentos.

2.3.2 Atributos

Foi definida uma árvore de atributos [6] para permitir a organização dos dados disponíveis que poderiam ser atribuídos a cada um dos principais elementos H-BIM construídos no estágio anterior. Tal inclui informações históricas (por exemplo, documentação sobre obras de reabilitação), tipo ou composição dos elementos (por exemplo, descrição da argamassa), propriedades do material (por exemplo, adquiridas de testes experimentais *in situ* que descrevem a estrutura e que são usadas para as análises subsequentes) e gestão de atributos relacionados (por exemplo, relatórios sobre o estado de conservação).

Os atributos históricos foram preenchidos com informações recolhidas de documentos que descrevem a história de cada espaço (como uma sala ou uma ala do palácio) ou cada elemento constitutivo individual (por exemplo, parede) e os seus usos originais e atuais. Os atributos de gestão registam informações relacionadas com intervenções no edifício, como o tipo de instalação ou a data das obras. Imagens, documentos de texto e ficheiros Excel foram os formatos de dados mais comuns utilizados.

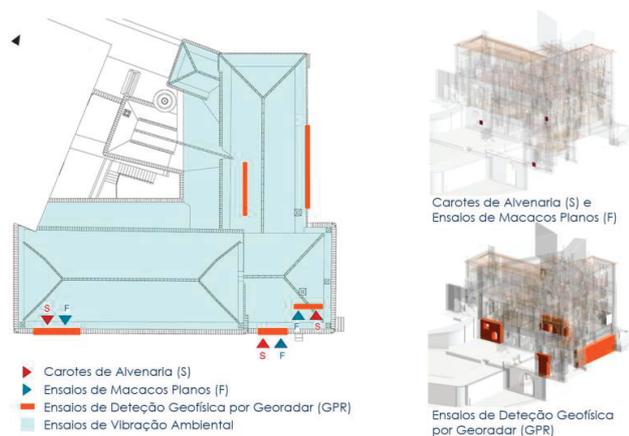


Figura 4 Localização dos ensaios experimentais realizados na Ala Manuelina

A metodologia interdisciplinar integrada estabelecida para a avaliação sísmica do Palácio Nacional de Sintra [7] incluiu uma campanha experimental *in situ*. No âmbito da abordagem descrita em [8], uma série de testes experimentais *in situ* foi realizada para avaliar as capacidades estruturais reais do edifício e para avaliar o seu nível de segurança estrutural, permitindo assim um ajuste das intervenções de reforço e reabilitação. Para uma caracterização completa das propriedades estruturais, foram realizados diferentes tipos de ensaios, considerando ensaios semidestrutivos e não destrutivos (SDT e NDT): remoção de carotes de alvenaria (SDT), ensaios de macacos planos (SDT), deteção geotécnica por georradar

(GPR – *Ground-Penetrating Radar*) (NDT) e testes de vibração ambiente (NDT). Todos os testes experimentais realizados na Ala Manuelina do palácio estão representados na Figura 4.

2.4 Implementação BIM

Os modelos desenvolvidos no conceito BIM seguem uma representação estruturada baseada em objetos, na qual os elementos têm geometria e atributos designados e se relacionam entre si segundo uma hierarquia predefinida. Portanto, em geral, um fluxo de trabalho de digitalização para BIM baseado em nuvens de pontos adquiridas por *laser scanning* envolve três tarefas: i) modelar a geometria dos componentes, ii) atribuir uma categoria de objeto e propriedades do material a um componente e iii) estabelecer as relações entre componentes.

Neste trabalho, o *software* BIM Autodesk Revit® foi usado para configurar um modelo completo do palácio, adequado aos requisitos de gestão. Foi decidido usar este *software* no projeto, pois é uma ferramenta muito comum para arquitetos, intuitiva, fácil de atualizar e que permite armazenar a informação que se deseja incluir no modelo final, onde as várias superfícies regulares ou irregulares que constituem o edifício estão representadas. Para o palácio, quatro tipos principais de elementos BIM foram tidos em conta – paredes, tetos, pisos e telhados – e foram complementados por portas, janelas e escadas. Os pormenores ausentes das bibliotecas comuns usadas pelo *software*, como lareiras, cornijas e outros recursos, exigem modelação paramétrica e tipos de família personalizados. No caso do estilo arquitetónico manuelino, é importante ter a capacidade de descrever parametricamente os motivos frequentes e mais representativos, a fim de facilitar a inserção desses elementos no modelo, mantendo um nível de detalhe compatível com a gestão dos componentes individuais.



Figura 5 Família de janelas e portas – Ala Manuelina

Seguindo a hierarquia do BIM e as categorias de componentes, foi necessário desenvolver uma biblioteca de elementos com um conjunto comum de parâmetros para a representação de itens como as portas e as janelas da Ala Manuelina. Assim, primeiro foi necessário um inventário de todas as instâncias que descrevessem os seus componentes e forma geométrica, catalogando as 120 portas e as 61 janelas. Considerando as semelhanças físicas, todas as instâncias foram agrupadas em tipos de família, totalizando 62 famílias de portas e 40 janelas [6] – Figura 5.

3 Resultados

O modelo BIM completo é apresentado na Figura 6. Com este é possível obter dados para elementos ou secções individuais do edifício, incluindo consultas, elaboração de mapas temáticos e geração de secções horizontais ou verticais. A partir do modelo H-BIM 3D há a possibilidade de extração de elementos bidimensionais – plantas, cortes e alçados. A Figura 7 apresenta exemplos de informação 2D extraídos diretamente do modelo 3D: planta do 2.º piso do edifício da Ala Manuelina e dois cortes.

A representação geométrica detalhada obtida permite desenvolver modelos estruturais adequados para a avaliação sísmica e propor eventuais estratégias futuras de reforço e de reabilitação.

No modelo BIM, foram definidas e representadas as localizações de

remoção de amostras de alvenaria, testes *flat-jack* e GPR. Todos os resultados principais obtidos com os testes *in situ* são adicionados ao modelo ou acrescentados a este como atributos. Um exemplo é a caracterização mecânica dos materiais, que está adicionada ao modelo BIM. A Figura 8 ilustra as propriedades mecânicas das paredes de alvenaria.

O *software* Revit® 2018 foi usado para desenvolver o modelo numérico 3D do edifício no *software* 3Muri [9]. O 3Muri realiza análises estruturais e sísmicas de edifícios de alvenaria e é baseado na abordagem de modelação de pórticos equivalentes, permitindo a realização de análises estáticas e dinâmicas não lineares de modelos de construção 3D inteiros. Na Figura 9, representa-se a distribuição dos danos de diferentes paredes de alvenaria para o estado limite de colapso iminente. Essa situação extrema permite uma identificação

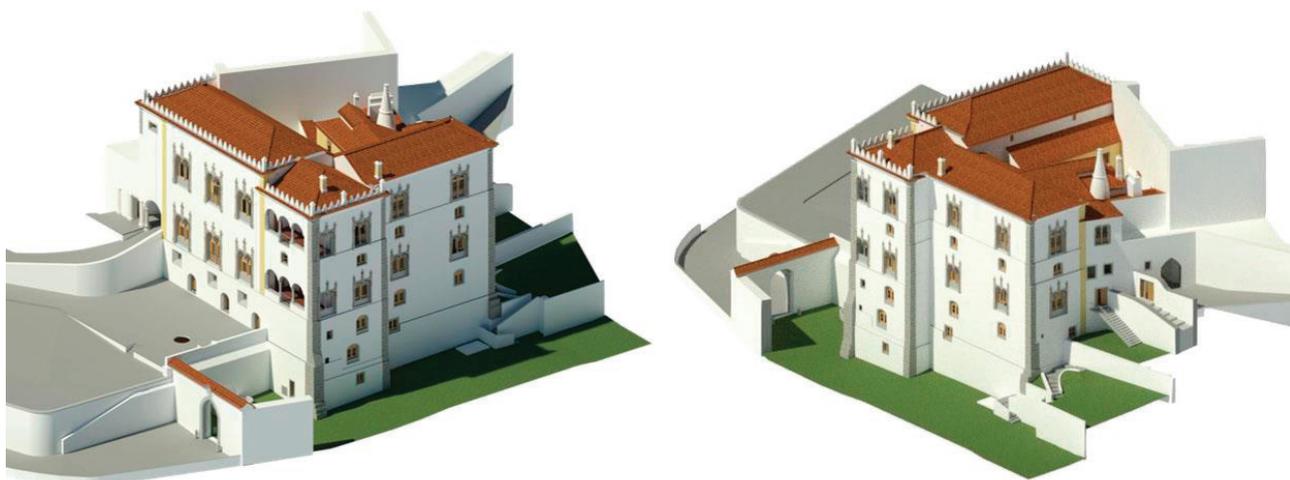


Figura 6 Modelo BIM da Ala Manuelina: vista sudeste (à esquerda) e vista nordeste (à direita)



Figura 7 Exemplos de informação 2D extraídos diretamente do modelo H-BIM 3D da Ala Manuelina: a) Planta do 2.º piso (escritórios); b) Corte 01-NS; e c) Corte 02-EO

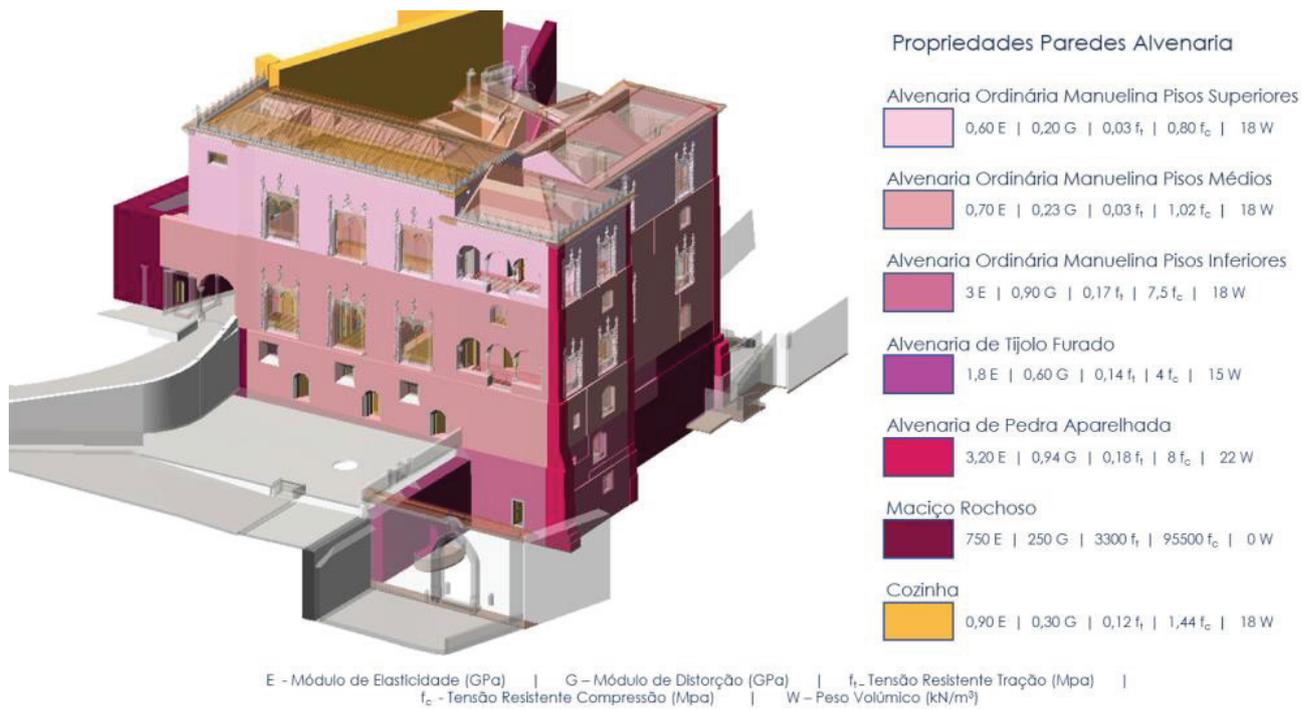


Figura 8 Propriedades mecânicas dos materiais inseridas no modelo H-BIM

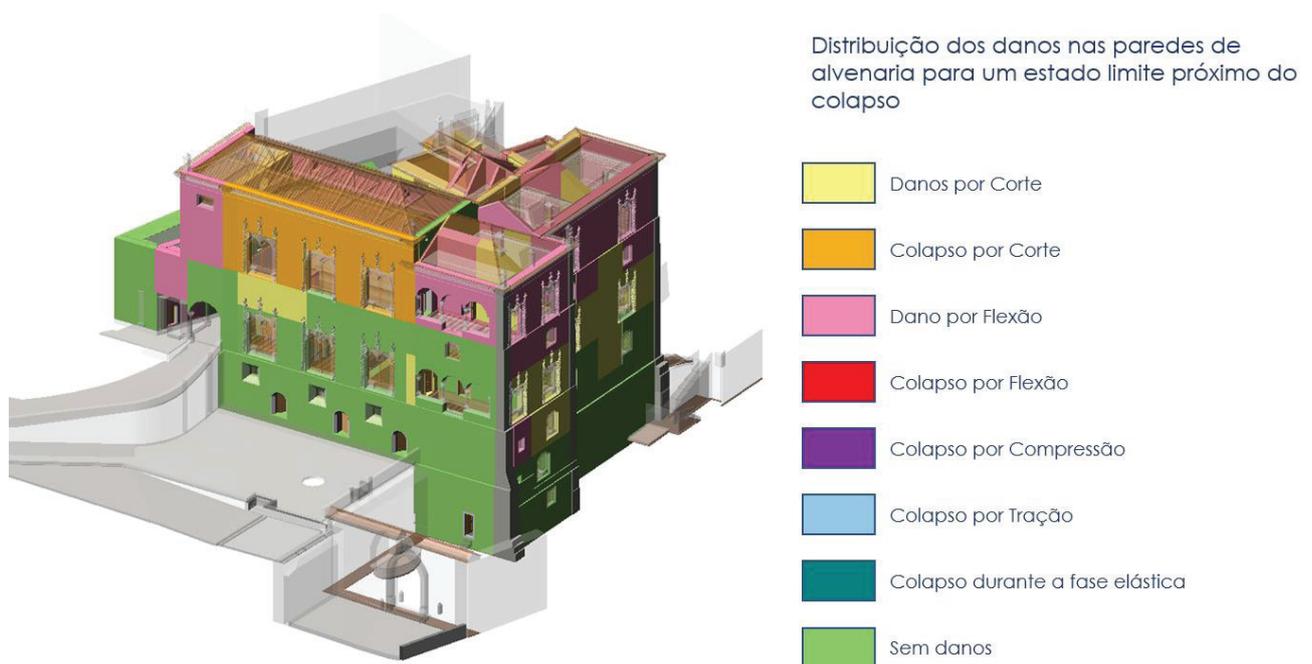


Figura 9 Distribuição dos danos nas paredes de alvenaria para um estado limite próximo do colapso

fácil e clara das paredes de alvenaria estrutural mais vulneráveis e do tipo de comportamento (corte ou flexão) que controlará o seu desempenho.

4 Conclusões

A gestão do Património Cultural Construído enfrenta uma série de desafios relacionados com a variedade e complexidade das estruturas e a diversidade de intervenções a que foram sujeitas ao longo do tempo. Ter uma plataforma única para integrar esses dados e torná-los acessíveis a técnicos, arquitetos, historiadores e autoridades públicas é da maior importância para a gestão coerente desses espaços. O uso de soluções BIM representa um passo em frente neste nível de integração dos processos de informação que facilita o fluxo de dados e a sua atualização contínua. Como parte do PCC, estas construções têm importância histórica e cultural específica sendo essencial, para a sua preservação, documentar as intervenções passadas e atuais, bem como os resultados de estudos sobre deterioração das construções, para que decisões mais bem fundamentadas possam ser tomadas.

Neste estudo, é apresentado o modelo H-BIM desenvolvido para o Palácio Nacional de Sintra, em particular os resultados obtidos para a Ala Manuelina do palácio. O sistema desenvolvido constitui o recurso central para a documentação histórica, incorporando a variedade de documentação de suporte, seja em atributos incorporados ou como *links* externos. Além disso, através da representação geométrica detalhada baseada na aquisição de dados por *laser scanning*, permite produzir modelos estruturais adequados que são usados nos procedimentos de avaliação de vulnerabilidade sísmica de modelos de elementos finitos e integra os resultados dessas análises estruturais na base de dados do modelo H-BIM. Como tal, a principal contribuição deste trabalho é a apresentação da aplicabilidade do uso combinado dos recursos de armazenamento de atributos e base de dados de geometria do Heritage BIM através de uma troca de informações bidirecional com o *software* de análise estrutural, alimentando um fluxo de dados circular e contínuo.

Agradecimentos

O estudo foi desenvolvido no âmbito dos projetos "Desenvolvimento de um modelo BIM para gestão de informação e apoio a projetos, obras e manutenção de património construído, com base em levantamentos *Laser Scanning*" e "Avaliação da segurança sísmica do Palácio Nacional de Sintra: identificação de anomalias estruturais e dos fatores de vulnerabilidade", desenvolvidos pelo IST (coordenação Rita Bento) para a Parques de Sintra – Monte da Lua, S.A., a cuja equipa, envolvida no projeto, os autores desejam agradecer. Por fim, o terceiro autor deseja agradecer o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através de uma bolsa de doutoramento (número SFRH/BD/145571/2019).

Referências

O presente trabalho representa uma sinopse da publicação: Godinho, M., Machete, R., Ponte, M., Falcão, A.P., Gonçalves, A.,

Bento, R., 2019 – "BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal", *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier. doi: 10.1016/j.culher.2019.11.010

- [1] Osello, A.; Lucibello, G.; Morgagni, F., 2018 – "HBIM and virtual tools: a new chance to preserve architectural heritage", *Buildings*, 8(1), 12; doi: 10.3390/buildings8010012
- [2] Macher, H.; Landes, T.; Grussenmeyer, P., 2017 – "From point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings". *Applied Sciences*, 7(10), 1030. doi: 10.3390/app7101030
- [3] Barazzetti, L.; Banfi, F., 2017 – "Historic BIM for mobile VR/AR applications". In *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage* (pp. 271-290). Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-319-49607-8_10
- [4] Charef, R.; Alaka, H.; Emmitt, S., 2018 – "Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views". *Journal of Building Engineering*, 19, 242-257. doi: 10.3390/mti2020021
- [5] López, F.J.; Lerones, P.M.; Llamas, J.; Gómez-García-Bermejo, J.; Zalama, E., 2018 – "A review of heritage building information modeling (H-BIM)". *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2), 21. doi: 10.3390/mti2020021
- [6] Godinho, M.; Machete, R.; Ponte, M.; Falcão, A.P.; Gonçalves, A.; Bento, R., 2019 – "BIM as a resource in heritage management: An application for the National Palace of Sintra, Portugal", *Journal of Cultural Heritage*, Elsevier. doi: 10.1016/j.culher.2019.11.010
- [7] Ponte, M.; Bento, R.; Silva, D.V., 2019 – "A multi-disciplinary approach to the seismic assessment of the National Palace of Sintra", *International Journal of Architectural Heritage, Conservation, Analysis, and Restoration*, Taylor & Francis. doi: 10.1080/15583058.2019.1648587
- [8] Bento, R., 2019 – "An Interdisciplinary Approach to the Seismic Assessment of Built Cultural Heritage: Case Studies in Lisbon and Outskirts", Capítulo do Livro *Structural Analysis of Historical Constructions*, Springer International Publishing, Editors: Rafael Aguilar, Daniel Torrealva, Susana Moreira, Miguel A. Pando, Luis F. Ramos, Print ISBN: 978-3-319-99440-6, Electronic ISBN: 978-3-319-99441-3
- [9] 3Muri (version 11.5). 2018. Italy: S.T.A. Data.