

Ligação dinâmica de dados em ambiente BIM: Aplicação à gestão de um edifício universitário

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.51>

**Rita Machete¹, Jonatan Villavicencio²,
Ana Paula Falcão³, Alexandre B. Gonçalves⁴, Rita Bento⁵**

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0003-3106-9337

² Instituto Superior Técnico Universidade de Lisboa, Lisboa

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-3626-7634

⁴ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0001-7273-1230

⁵ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-6503-0644

Resumo

Os modelos BIM (*Building Information Model*) têm vindo a demonstrar elevado potencial para uma série de operações relacionadas com a Gestão de Espaços (GE), nomeadamente na representação, análise e processamento de informação sobre edifícios. No entanto, são também conhecidos alguns desafios à utilização eficaz de sistemas de informação no âmbito da GE centrados em BIM. Entre estes desafios, que ocorrem nas fases de conceção e de implementação, encontram-se a definição da estrutura de informação, que não é generalizável e que por isso tem de ser adaptada a cada caso específico, o carácter dinâmico dos valores, que implica a arquitetura de soluções com capacidade de o representar, e a variedade de especialidades envolvidas na GE realizadas por técnicos não especialistas em BIM, que implica a utilização de interfaces para acesso ou atualização dos dados.

Neste artigo é apresentado um protótipo que resulta da integração de sensores ambientais de baixo custo, num modelo BIM. Explorando as capacidades do BIM e a integração de *plug-ins*, a solução proposta permite o registo muito detalhado de dados relacionados com GE num modelo atualizado e acessível a todas as especialidades envolvidas nas operações de manutenção do edifício. É discutida a aplicabilidade da solução proposta para a gestão de um edifício universitário.

1. Introdução

A abordagem BIM (*Building Information Model*) surgiu como um paradigma de colaboração no armazenamento e partilha adequada e coerente de informação de construção entre os vários profissionais envolvidos na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Apresentado como solução para lidar com grandes e muito diversos volumes de dados relativos à construção, o BIM permite uma representação gráfica em 3D juntamente com uma base de dados para registo de atributos. A promoção da interoperabilidade é fundamental para permitir a partilha, comunicação e atualização da informação contida nos modelos de construção, utilizando vários formatos de dados e programas, envolvendo os diversos profissionais e intervenientes relacionados com o ciclo de vida do edifício [1]. A adequação do BIM aos edifícios existentes tem sido discutida na indústria da AEC, e, dependendo do tipo de aplicação, é geralmente enquadrada num diagrama conceptual de níveis que vão desde a simples representação geométrica (BIM 3D) até à utilização para a programação da manutenção preventiva ou planeamento da resposta a emergências (BIM 7D) [2].

Os requisitos para BIM no domínio da gestão dos edifícios são diferentes dos orientados para outras fases do ciclo de vida das construções [3]. Durante as fases de projeto e construção, o BIM é em geral utilizado para apoiar as diversas atividades de profissionais e peritos que lidam com a estimativa de custos, a otimização de recursos, e a programação e execução sequencial de tarefas. Em contraste, durante a fase de funcionamento de um edifício, a utilização do BIM para a gestão de espaços é mais exigente, com atributos com alterações frequentes de estado e para os quais é importante aceder ao seu registo histórico, com elevado nível de heterogeneidade relativamente a atributos e formatos, e com a necessidade de tornar a informação acessível a não especialistas em BIM [4]. Apesar destas dificuldades, as vantagens da utilização do BIM no âmbito da gestão de edifícios como uma base de dados digital centralizada para todos os dados sobre o edifício, apoiando a manutenção e a gestão, foram identificadas na literatura em muitos aspetos da vida do edifício, da segurança e saúde [5] ao consumo de energia [6]. A utilização de tecnologias de informação pelos edifícios (conhecidos como *Smart Building*), orientada para otimizar recursos e assegurar níveis sustentáveis de consumo de energia, é potenciada pela diminuição dos custos dos sensores digitais e pelo aumento da capacidade computacional para lidar com grandes volumes de dados.

A tecnologia de rede de sensores sem fios (WSN) ganhou proeminência na gestão ambiental dos edifícios após a construção, ligada a abordagens BIM [7][8][9]. Uma WSN incorpora uma rede sem fios de dispositivos ou sensores autónomos distribuídos espacialmente para fornecer monitorização em tempo real das condições físicas ou ambientais. Os sensores ambientais interiores são principalmente orientados para monitorização da segurança [10][11] ou para a avaliação da sustentabilidade energética e análise de desempenho e conforto [12]. Os sensores ambientais e acústicos podem fornecer dados sobre a ocupação do edifício [13][14][15][16] e as condições ambientais a que o edifício está, em tempo real, sujeito [17]. Ainda assim, a automatização da avaliação de dados tem de ser devidamente implementada, devido a desafios

como o volume dos conjuntos de dados, a harmonização dos níveis de detalhe e a interoperabilidade com os formatos existentes utilizados [18]. Quanto à integração do BIM em soluções enquadráveis na *Internet of Things* (IoT), a investigação encontra-se ainda numa fase inicial, em que a maioria dos estudos são principalmente teóricos e conceptuais [19] ou orientados para a construção de protótipos [20].

A preservação e salvaguarda dos edifícios é uma preocupação permanente das universidades. Por conseguinte, é da maior importância dispor de recursos e instrumentos para promover a sua segurança e sustentabilidade. De facto, alguns grandes desafios surgem no caso de edifícios universitários aplicarem sensores no contexto de processos de gestão de espaços baseados em BIM, tais como as dificuldades em instalar os sensores de forma não invasiva quando existe um valor patrimonial atribuído às construções, ou a dificuldade em assegurar a integração, em tempo real, dos dados recolhidos pelos sensores numa plataforma 3D, como exemplificam os sensores ambientais e acústicos colocados em edifícios de uso intensivo.

Neste trabalho é apresentado um protótipo que resulta da integração de sensores ambientais de baixo custo num modelo BIM orientado para a gestão de espaços. Pretende-se com esta solução democratizar o acesso à informação permitindo a consulta, armazenamento e atualização de valores por especialistas e não especialistas em BIM correspondentes às diferentes áreas técnicas envolvidas na gestão e manutenção de espaços. O estudo de caso é o Pavilhão de Engenharia Civil, um edifício universitário polivalente localizado no campus da Alameda do Instituto Superior Técnico, da Universidade de Lisboa.

2. Contexto

Os edifícios universitários podem envolver uma variedade de atividades que decorrem em espaços que vão de salas de aula a gabinetes, laboratórios, serviços, e espaços técnicos e de apoio às instalações. Do ponto de vista da gestão, existe uma diversidade de características e atributos (por exemplo, áreas e mobiliário para salas de aula, equipamento para laboratórios, etc.), existindo normalmente um grande número de especialidades envolvidas nas atividades diárias de gestão (por exemplo, espaços de sala de aula geridos por um serviço central da universidade, laboratórios por grupos de investigação, gabinetes de um departamento, etc.). A informação de interesse para os gestores é também normalmente diversa, extensa e dinâmica, uma vez que os edifícios da universidade funcionam durante todo o ano, por vezes abertos em permanência, e com grande utilização por uma grande comunidade universitária, exigindo assim manutenção constante.

Uma solução BIM, em confronto com a construção de apenas uma base de dados como um repositório centralizado, destaca-se devido a capacidade de visualização em 3D dos espaços e dados, permitindo também a projeção de soluções futuras, apresentando um elevado potencial no apoio à gestão de dados do edifício. Alguns exemplos de implementações exploratórias de BIM na gestão de espaços (GE) de edifícios universitários já existem.

Galiano-Garrigós e Andújar-Montoya [21] apresentou um quadro teórico para a integração do GE-BIM, no âmbito das operações e manutenção dos edifícios universitários. A investigação salientou a importância de adotar o BIM em conjunto com a GE para proporcionar uma manutenção mais eficiente utilizando tecnologias emergentes para a captura de dados, tais como sensores inteligentes. Um estudo de caso sobre a aplicabilidade do paradigma proposto a um edifício no campus da Universidade de Alicante, em Espanha, demonstrou a sua viabilidade e potencial como um sistema abrangente de acesso e partilha de informação entre os vários interessados envolvidos na manutenção de edifícios.

Kassem et al. [22] apresentou um caso de estudo com um total de 32 edifícios não residenciais no campus da Universidade de Northumbria em Inglaterra, os quais foram modelados em BIM orientado para GE. O estudo permitiu a avaliação do valor de tais soluções quando comparados com os processos tradicionais de transmissão de informação, e o aumento da eficiência na execução de ordens de trabalho. Permitiu também a enumeração de alguns dos principais desafios no processo, entre os quais questões relacionadas com a interoperabilidade e a presença de vários sistemas operacionais para gerir os edifícios, mas também a inexistência de especificações relacionadas com o BIM para requisitos de modelação GE.

Um outro caso de estudo foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Universidade Nacional de Tecnologia de Taipé, em Taiwan [23]. O estudo propõe um sistema para discutir e analisar todo o processo de gestão da manutenção. O modelo centrou-se no trabalho de manutenção das instalações ao qual foi atribuído um código de cores aos elementos do BIM para mais facilmente compreender o estado dos trabalhos de manutenção. Foi também incluída uma comparação funcional da apresentação, registo e pesquisa entre a solução BIM e o sistema tradicional de informação em papel e de gestão.

Muñoz Pavón et al. [24] quantifica o impacto da digitalização da informação na manutenção e gestão dos edifícios universitários. Uma solução integrada sensor-BIM [25] foi proposta para um pavilhão na Universidade de Cagliari, em Itália, onde, através de uma plataforma de interface BIM, foram centralizados os dados relativos às condições interiores do edifício medidas (temperatura e luminância e parâmetros de consumo de energia). O objetivo da solução foi fornecer os meios para avaliar o conforto e a eficiência energética do edifício, facilitando os procedimentos de auditoria energética.

Villa et al. [26] apresentam uma estrutura totalmente automatizada composta por sensores IoT e uma plataforma BIM para apoiar a manutenção preventiva numa sala de laboratório do Politécnico de Turim, em Itália.

Da análise dos casos apresentados poder-se-ão sintetizar não apenas os benefícios da utilização de plataformas BIM como base para gestão dos dados dos edifícios, mas também as dificuldades expectáveis. A estrutura de informação, dependente de cada caso específico, a necessidade de manutenção de registos históricos dos espaços,

e a adoção de interfaces para facilitar ou a atualização a consulta da informação no BIM, serão os principais desafios a considerar.

3. Materiais e métodos

3.1. Metodologia geral

O fluxo de trabalho proposto baseia-se nas diretrizes sugeridas por McArthur [27], estabelecendo as bases do modelo na identificação das necessidades do cliente e na previsão dos dados que irão enriquecer o modelo 3D. As fases do fluxo de trabalho (Figura 1) consideradas são:

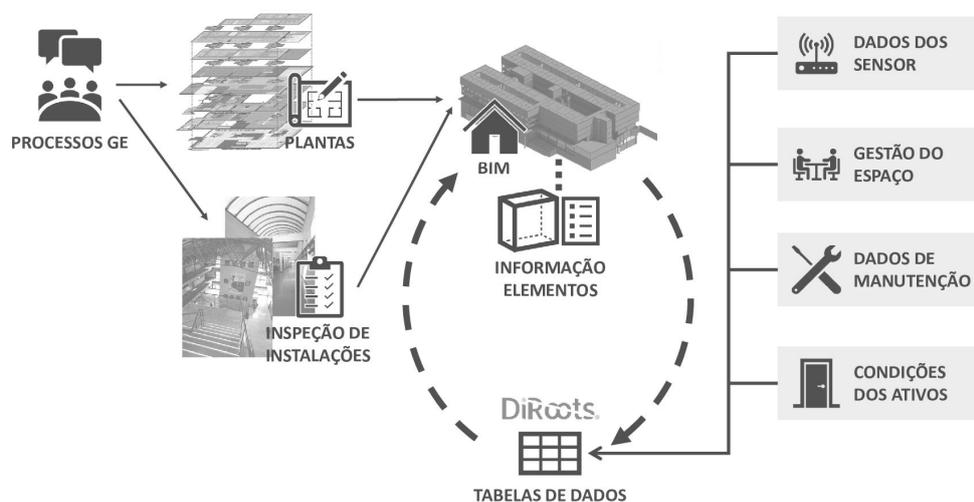


Figura 1
Fluxo geral da solução implementada.

Identificação de processos GE – A identificação do atual fluxo de trabalho de gestão e manutenção das instalações é obrigatória para determinar o âmbito e a estrutura da informação do modelo. Com a ajuda da equipa de manutenção os resultados nesta fase devem determinar o âmbito do projeto, o nível de detalhe do modelo e dos dados 3D, a manutenção chave e a informação GE, as necessidades de levantamento e revisão em detalhe do protocolo atual para registar, organizar e arquivar a informação de operação e manutenção.

Recolha de informação – A importância das técnicas utilizadas para o levantamento dos dados geométricos reside no nível de detalhe requerido para o projeto. Além disso, uma estrutura de dados adequada para os atributos ligados aos espaços identificados tem de ser estabelecida de acordo com o contexto decidido.

Construção do BIM – O produto a entregar nesta fase será o modelo 3D baseado na informação geométrica disponível, com um nível pré-definido de complexidade e os atributos relevantes. Este modelo atua como plataforma central para o armazenamento de dados, permitindo a extração de informação de elementos, e mantendo

uma versão atualizada dos atributos através de uma ligação dinâmica a folhas de cálculo externas.

Enriquecimento do modelo – A informação de manutenção e gestão do espaço está incluída e ligada ao modelo 3D. No estudo de caso, a informação considerada relevante são os dados dos sensores, informação relativa aos espaços, dados de manutenção e condições do ativo. A interação com o modelo do edifício é melhorada através do desenvolvimento de uma interface, funcionando como uma ponte para as diferentes ferramentas utilizadas.

3.2. Caso de Estudo

O Pavilhão de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico (IST), no campus da Alameda, em Lisboa, foi concebido em 1982 e construído na década de 1990. Tem 403 salas, num total de sete pisos ocupados com salas de aula, gabinetes, auditório, museu, biblioteca, bar, cantina, terraços, laboratórios, galerias técnicas, e uma garagem. A área de implantação do edifício é de cerca de 100 m por 55 m.

O modelo BIM foi desenvolvido usando Autodesk Revit®, dada a sua capacidade de interoperabilidade com outros softwares. Um conjunto de desenhos (plantas em formato CAD) fornecidas pelo gestor do edifício foi utilizado como fonte principal de dados geométricos, e complementada por inspeções visuais e medições locais. Os pavimentos, paredes, janelas, portas e tetos foram selecionados como os principais elementos que permitiram a definição e registo de espaços (denominados “salas” no software), sendo compatível com a unidade espacial “sala” usada na gestão do edifício. Foi aplicado um nível generalizado de detalhe, com uma geometria 3D que descreve a dimensão, forma e localização aproximada, para permitir uma descrição clara do espaço e uma representação geométrica abrangente do edifício, mantendo simultaneamente um modelo adequado para fins de manutenção.

As reuniões com o gestor do edifício foram centrais na solução encontrada e permitiram compreender o fluxo de informação envolvido no processo de gestão, existindo atividades de gestão que requerem um registo num sistema central do campus (por exemplo, intervenções na rede elétrica, grandes obras de construção), enquanto outras são decididas ou organizadas pelo gestor do edifício, ou seja, localmente (por exemplo, administração de fechaduras de portas, limpeza, configuração de ocupação máxima da sala), onde o foco da solução desenvolvida engloba o conjunto de requisitos geridos localmente. Com isto em consideração, foi definida e integrada no modelo uma árvore de atributos (Figura 2).

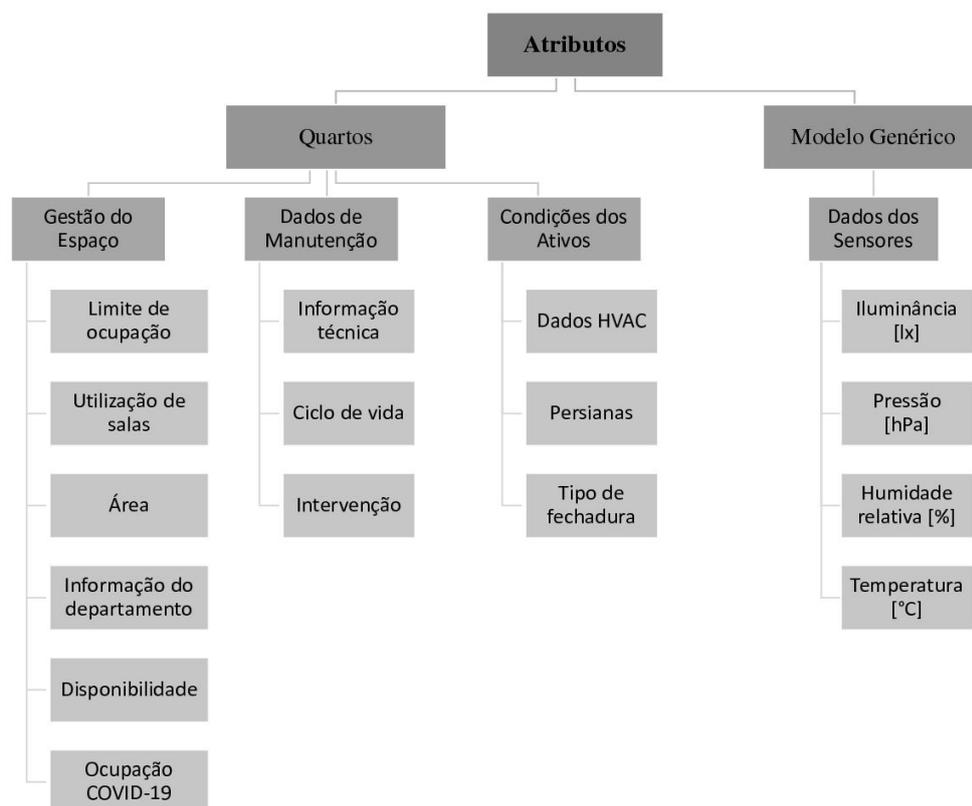


Figura 2
Árvore de atributos para o modelo BIM.

Foram introduzidos no modelo dados relacionados com a manutenção e gestão do espaço, informação sobre as condições dos bens, manutenção, e regulamentos específicos do período pandémico associado ao covid-19. A estrutura da base de dados é composta por atributos que representam aspetos da informação selecionada para enriquecer o modelo. Estes foram classificados em quatro grupos de atributos no modelo BIM: "gestão do espaço", "dados de manutenção", "condições dos ativos" e "dados dos sensores".

Sob o grupo "gestão do espaço", os atributos selecionados estão associados a informação relativa a utilização do espaço. No grupo "dados de manutenção", os atributos selecionados estão relacionados com informação técnica, por exemplo ligações de Intranet para aceder às bases de dados centrais de manutenção interna do campus, frequência de manutenção e dados relacionados com a vida útil dos equipamentos, e um registo histórico dos sucessivos trabalhos de manutenção. Sob a hierarquia das "condições do ativo", os atributos selecionados estavam relacionados com instalações controladas pelo gestor. Sob o grupo "dados dos sensores", são armazenados dados ambientais, exibindo os últimos valores registados pelos sensores e apresentando uma ligação para aceder aos dados históricos para cada variável. Permitindo que o gestor ative o procedimento que permitirá melhorar o conforto térmico e níveis de satisfação dos utilizadores do espaço.

A atualização da informação recorre a uma solução que tem por base folhas de cálculo no sentido de facilitar a atualização dos valores dos atributos no modelo Autodesk Revit® por peritos não especialistas em BIM. As folhas de cálculo são também utilizadas para armazenar e manter o histórico das medições dos sensores.

As tabelas com informação editável das salas e bens são exportadas para o formato de folha de trabalho Microsoft Excel® (*.xlsx). Depois, após edição da folha de cálculo Excel, o *plug-in* DiRoots® para Revit [28] é utilizado para atualizar a informação editada de volta para o modelo BIM. Respondendo também às necessidades de ter um registo histórico de intervenções, um script VBA permite guardar e registar todos os dados numa pasta de trabalho diferente, permitindo a sua consulta e filtragem usando as funções regulares do Microsoft Excel®. A base de dados BIM pode ser editada utilizando a folha de cálculo que está ligada ao modelo, mas só será atualizada após validação, conduzida pelo gestor, sobre o conteúdo e qualidade dos dados introduzidos nos relatórios.

Para a aquisição e inserção de dados do sensor no sistema, o sensor foi ligado através de uma rede Wi-Fi utilizando a plataforma Microsoft Azure®, englobando uma solução IoT. O sensor foi programado para registar as condições ambientais, registando a iluminância [lx], pressão [hPa], humidade relativa [%], e temperatura [°C], de dois em dois minutos. Os dados são registados e visualizados na plataforma Azure e depois exportados para uma folha de cálculo Microsoft Excel® que contém todos os registos de dados. Para o processo de atualização dos dados no modelo Revit, foi criado um modelo genérico que representa o formato e a localização do sensor. O consequente registo de informação dos modelos genéricos foi exportado para um formato de folha de trabalho Microsoft Excel® (*.xlsx) através do *plug-in* DiRoots® para Revit e ligado à folha de registo de dados. Isto permite a atualização do modelo BIM com a última entrada de valor de dados, mantendo ao mesmo tempo uma ligação a todos os registos através de uma ligação URL.

A interface de consulta (Figura 3) consiste num painel de controlo desenvolvido no painel interativo Microsoft Power BI®, sintetizando a informação recolhida em infográficos e permitindo a consulta com operações de filtragem de informação associados a representações gráficas do edifício em 2D ou 3D, e tabelas personalizadas. A importação de dados é realizada através do *plug-in* Tracer [29]. A interface no painel interativo é utilizada para consulta, contendo dados apenas de leitura.

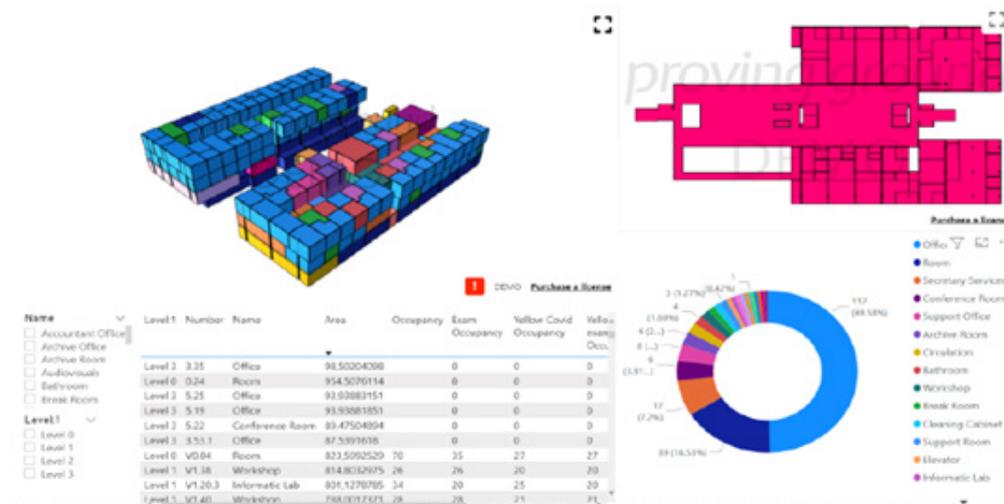


Figura 3
Exemplo de um relatório do Microsoft Power BI® para o edifício do estudo de caso.

Em síntese (figura 4), o processo envolve quatro fases: (i) Introdução de dados; (ii) Notificação; (iii) Revisão e aprovação; e (iv) Atualização e armazenamento. As duas primeiras fases dizem respeito à intenção de acrescentar novos dados, e as duas últimas envolvem a revisão e autorização, permitindo a apresentação e atualização de dados. O gestor só precisa de controlar o formato e qualidade da informação sem a necessidade de introduzir ou editar diretamente a informação no BIM, através da verificação da folha de cálculo Excel. No caso dos dados dos sensores, o gestor não necessita de validar a informação, mas deve verificar a conformidade dos dados para identificar problemas e promover ações. Os dados são transferidos para uma folha de cálculo editável que, por sua vez, pode ser importada pelo BIM através do *plug-in* DiRoots. Uma folha de cálculo ligada permite manter um registo completo das intervenções e é alimentada através de um *script* VBA. Esta informação, e os dados do modelo BIM acedidos através do *plug-in* Tracer, podem ser visualizados numa interface Power BI.



Figura 4
Fluxo de atualização e visualização da informação.

4. Discussão e conclusão

A solução apresentada demonstrou eficiência no registo e atualização de informação com interesse para a gestão de edifícios, utilizando o BIM como plataforma centralizada de dados. No conjunto dos dados trabalhados foram considerados valores obtidos por sensores ambientais, e dados relativos aos espaços e às intervenções no edifício. A solução permite o acesso e atualização por especialistas e não-especialistas, enquanto um gestor BIM mantém um modelo atualizado com a informação mais recente sobre cada espaço. Em paralelo, os registos históricos são mantidos e ligados ao modelo, permitindo a obtenção de valores históricos, fornecendo informação para apoio à decisão.

Os dados relacionados com as necessidades de gestão dos espaços são específicos para cada caso, e os modelos de informação para manter a funcionalidade do sistema devem adaptar-se aos requisitos de utilização desses espaços. Isto é particularmente observável em estruturas complexas, tais como edifícios universitários polivalentes, que apresentam uma elevada heterogeneidade de dados, e utilizações e funções distintas dos espaços.

O conforto ambiental e a eficiência energética são questões importantes na gestão de edifícios. Centralizar os dados numa solução BIM permite a compreensão dos dados relativos à orientação espacial, dimensões e utilização do edifício, por exemplo, relacionando-os com valores de iluminação relativos à exposição solar. A solução permite ainda apoiar as tarefas comuns de extração e visualização de informação, tais como a produção de secções, planos, ou mapas temáticos.

A gestão de edifícios utilizando *software* BIM requer conhecimentos especializados, enquanto as especialidades técnicas envolvidas na operação e manutenção do edifício são realizadas essencialmente por técnicos não especialistas em BIM. Assim, é fundamental que o acesso ao modelo e a sua atualização sejam possíveis através de ferramentas de fácil utilização ligadas ao BIM. A arquitetura do sistema desenvolvido permitiu explorar este fluxo de dados bidirecional através de folhas de cálculo e de um painel de controlo interativo.

Agradecimentos

Esta investigação foi financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, subvenção nº 2020.09705.BD.

Referências

- [1] Santos, R.; Costa, A. A.; Silvestre, J. D.; Vandenberg, T.; Pyl, L. (2020). BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. *Building and Environment* 169, 106568. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106568>.

- [2] 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. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>.
- [3] Machete, R.; Silva, J.R.; Bento, R.; Falcão, A.P.; Gonçalves, A.B.; Lobo de Carvalho, J.M.; Silva, D.V. (2021). Information transfer between two heritage BIMs for reconstruction support and facility management: the case study of the Chalet of the Countess of Edla, Sintra, Portugal. *Journal of Cultural Heritage* 49, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2021.02.010>.
- [4] Durdyev, S.; Ashour, M.; Connelly, S.; Mahdiyar, A. (in press). Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management. *Journal of Building Engineering*, 103736. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103736>.
- [5] Cortés-Pérez, J.P.; Cortés-Pérez, A.; Prieto-Muriel, P. (2020). BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance. *Automation in Construction* 113, 103115. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103115>.
- [6] Chen, W.W.; Chen, K.Y.; Cheng, J.C.P. (2017). BIM- and IoT-based framework for building energy consumption and indoor human comfort management. *Proceedings of 22nd International Conference on Advancement of Construction Management and Real Estate, CRIOCM 2017, Melbourne, Australia*, 1035-1042. ISBN 978-064807424-3.
- [7] Mataloto, B.; Ferreira, J.C.; Resende, R.; Moura, M.; Luís, S. (2020a). BIM in People2People and Things2People interactive process. *Sensors*, 20(10), 2982. <https://doi.org/10.3390/s20102982>.
- [8] Mataloto, B.; Mendes, H.; Ferreira, J.C. (2020b). Things2People Interaction toward Energy Savings in Shared Spaces Using BIM. *Applied Sciences* 10(16), 5709. <https://doi.org/10.3390/app10165709>.
- [9] Mobaraki, B.; Lozano-Galant, F.; Soriano, R.P.; Castilla Pascual, F.J. (2021). Application of Low-Cost Sensors for Building Monitoring: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 11, 336. <https://doi.org/10.3390/buildings11080336>.
- [10] Lombardo, L.; Corbellini, S.; Elsayed, A.; Angelini, E.; Parvis, M.; Grassini, S. (2017). Sensor network for museum environmental monitoring. *2017 IEEE International Workshop on Measurement and Networking (M&N)*. <https://doi.org/10.1109/IWMN.2017.8078394>.
- [11] Klein, L.; Bermudez, S.; Schrott, A.; Tsukada, M.; Dionisi-Vici, P.; Kargere, L.; Marianno, F.; Hamann, H.; López, V.; Leona, M. (2017). Wireless Sensor Platform for Cultural Heritage Monitoring and Modeling System. *Sensors*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/s17091998>.

- [12] Rogage, K.; Clear, A.; Alwan, Z.; Lawrence, T. (2020). Assessing building performance in residential buildings using BIM and sensor data. *International Journal of Building Pathology and Adaptation* 38(1), 176-191. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2019-0012>.
- [13] Neves e Sousa, A.; Gibbs, B.M. (2011). Low frequency impact sound transmission in dwellings through homogeneous concrete floors and floating floors. *Applied Acoustics*, 72(4), 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.11.006>.
- [14] Amayri, M.; Arora, A.; Ploix, S.; Bandhyopadhyay, S.; Ngo, Q.-D.; Badarla, V.R. (2016). Estimating occupancy in heterogeneous sensor environment. *Energy and Buildings* 129 (2016) 46-58. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.026>.
- [15] Chen, Z.; Jiang, C.; Xie, L. (2018). Building occupancy estimation and detection: A review. *Energy and Buildings* 169, 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.084>.
- [16] Zikos, A.; Tsolakis, A.; Meskos, D.; Tryferidis, A.; Tzovaras, D. (2016). Conditional Random Fields-based approach for real-time building occupancy estimation with multi-sensory networks. *Automation in Construction* 68, 128-145. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.005>.
- [17] Ponte, M.; Bento, R.; Vaz, S.D. (2019). A Multi-Disciplinary Approach to the Seismic Assessment of the National Palace of Sintra. *International Journal of Architectural Heritage*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1648587>.
- [18] Valinejadshoubi, M.; Moselhi, O.; Bagchi, A. (2021) Integrating BIM into sensor-based facilities management operations. *Journal of Facilities Management*, ahead of print. <https://doi.org/10.1108/JFM-08-2020-0055>.
- [19] Tang, S.; Shelden, D.R.; Eastman, C.M.; Pishdad-Bozorgi, P.; Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127-139. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>.
- [20] Desogus, G.; Quaquero, E.; Rubiu, G.; Gatto, G.; Perra, C. (2021). BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. *Sustainability*, 13, 4496. <https://doi.org/10.3390/su13084496>.
- [21] Galiano-Garrigós, A.; Andújar-Montoya, M.D. (2018). Building information modelling in operations of maintenance at the University of Alicante. *International Journal of Sustainable Development and Planning* 13(1), 1-11. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-1-11>.
- [22] Kassem, M., Kelly, G., Dawood, N., Serginson, M. and Lockley, S. (2015), "BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex",

- Built Environment Project and Asset Management, Vol. 5 No. 3, pp. 261-277. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>.
- [23] Su, Y.; Lee, Y.; Lin, Y., 2011. Enhancing Maintenance Management Using Building Information Modeling in Facilities Management. 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2011). <https://doi.org/10.22260/ISARC2011/0140>.
- [24] Muñoz Pavón, R.; Arcos Alvarez, A.A.; Alberti, M.G. BIM-Based Educational and Facility Management of Large University Venues. *Appl. Sci.* 2020, 10, 7976. <https://doi.org/10.3390/app10227976>.
- [25] Desogus, G.; Quaquero, E.; Rubiu, G.; Gatto, G.; Perra, C. (2021). BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. *Sustainability*, 13, 4496. <https://doi.org/10.3390/su13084496>.
- [26] Villa, V.; Naticchia, B.; Bruno, G.; Aliev, K.; Piantanida, P.; Antonelli, D. (2021). IoT Open-Source Architecture for the Maintenance of Building Facilities. *Applied Sciences*, 11, 5374. <https://doi.org/10.3390/app11125374>.
- [27] McArthur, J.J. (2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 118, 1104-1111. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.450>.
- [28] DiRoots (n/d). Revit to Excel and Google Sheets. Available online: <https://diroots.com/revit-plugins/revit-to-excel-sheetlink/>.
- [29] PG Apps (n/d). Tracer For Revit | 3D Building Information Models for Power BI. Available online: <https://apps.provingground.io/tracer/>.