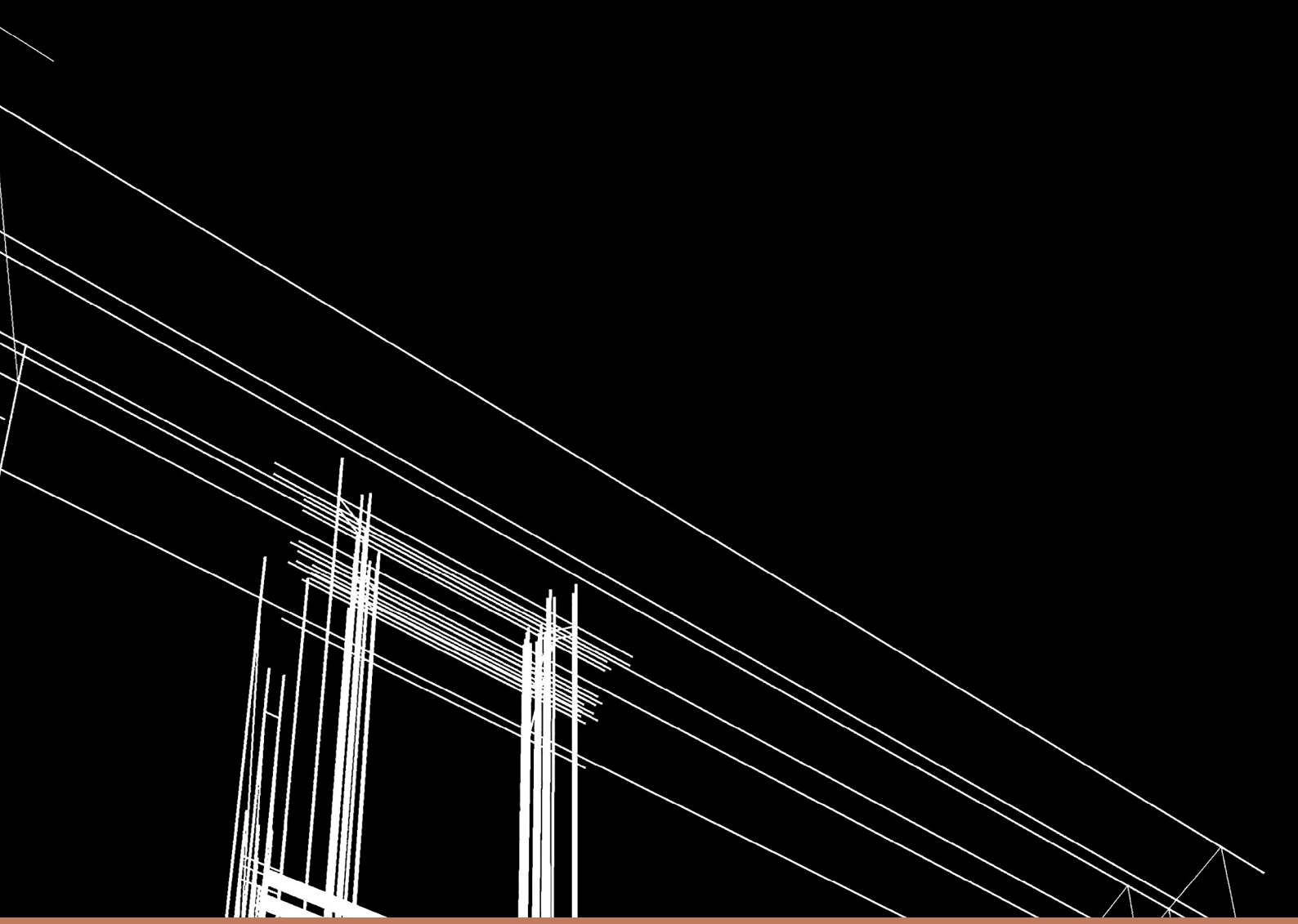


4º Congresso Português de Building Information Modelling

vol.1

Miguel Azenha, José Carlos Lino, José Granja,
Bruno Figueiredo, João Poças Martins (editores)

Coleção Atas

UMinho Editora

UMinho Editora
Atas

EDITORES
Miguel Azenha
José Carlos Lino
José Granja
Bruno Figueiredo
João Poças Martins

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Manuela Martins

FOTO CAPA
Yurii Andreichyn/Shutterstock

DESIGN
Tiago Rodrigues

PAGINAÇÃO
Carlos Sousa | Bookpaper

EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2022

ISBN digital 978-989-8974-68-6

DOI https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32

Os conteúdos apresentados (textos e imagens) são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores / Universidade do Minho – Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

UMINHO EDITORA

4º Congresso Português de *Building Information Modelling*

vol. 1

Universidade do Minho

U.PORTO

TÉCNICO LISBOA

ptBIM

Comissão organizadora local

Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
José Carlos Lino – Universidade do Minho (EEUM)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAAD)

Comissão organizadora nacional

Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)

Comissão internacional

Eduardo Toledo Santos – Universidade de São Paulo (Brazil)
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Regina Ruschel – Universidade Estadual de Campinas (Brazil)
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)
Vera Cibele Neves Marques – Universidade Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)
Herculano Miguel – Ordem dos Engenheiros (Angola)

Comissão científica

Presidente da Comissão Científica João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)

Alexandre Marques – Hilti
Alfredo Soeiro – Universidade do Porto (FEUP)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)
António Aguiar Costa – BUILT CoLAB/Universidade de Lisboa (IST)
António Cabaço – LNEC
António Menezes Leitão – Universidade de Lisboa (IST)
Bárbara Rangel – Universidade do Porto (FEUP)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAAD)
Bruno Matos – Engexpor
Diogo Ribeiro – ISEP
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Eduardo Toledo Santos – Universidade de S. Paulo (USP)
Eugénio Rodrigues – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Fábio Dinis – Universidade do Porto (FEUP)
Fernanda Rodrigues – Universidade de Aveiro
Fernando Pinho – Universidade Nova Lisboa

Francisco Teixeira Bastos – Universidade de Lisboa (IST)
Hélder Sousa – Universidade do Minho (EEUM)
Herculano Miguel – Ordem dos Engenheiros (Angola)
Hipólito Sousa – Universidade do Porto (FEUP)
Hugo Rodrigues – Universidade do Aveiro
Inês Flores-Colen – Universidade de Lisboa (IST)
Isabel Valente – Universidade do Minho (EEUM)
João Pedro Couto – Universidade do Minho (EEUM)
João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
José António Ribeiro – Mota Engil
José Carlos Lino – Universidade do Minho (EEUM)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
José Miguel Castro – Universidade do Porto (FEUP)
José Oliveira – DiRoots
José Pedro Sousa – Universidade do Porto (FAUP)
José Pinto-Faria – ISEP
José Santos – Universidade da Madeira
Josyanne Giesta – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Luís Pedro Bidarra – Norvia
Luís Ribeirinho – TPF
Luís Sanhudo – BUILT CoLAB
Luís Santos – Leica Geosystems
Luisa Maria Silva Gonçalves – Instituto Politécnico de Leiria
Manuel Tender – ISEP/ISLA
Marcelo Giacaglia – Universidade de S. Paulo (USP)
Maria João Falcão – LNEC
Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
Miguel Ferraz – Universidade do Porto (FEUP)
Miguel Pires – Casais
Norberto Moura – Universidade de S. Paulo (FAUUSP)
Norberto Santos – Universidade do Porto (FAUP)
Nuno Ramos – Universidade do Porto (FEUP)
Patrícia Escórcio – Universidade da Madeira (UMa)
Paula Couto – LNEC
Paulo Costeira – Politécnico de Viseu
Pedro Ferreirinha – HCI
Pedro Mêda – Inst. Construção
Regina Ruschel – Universidade Estadual de Campinas (Brazil)
Ricardo Almeida – Politécnico de Viseu (IPV)
Ricardo Costa – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Ricardo Pereira Santos – ISEP
Ricardo Resende – ISCTE-IUL
Rodrigo Falcão Moreira – GROUNDMOTION
Rodrigo Lameiras – Universidade de Brasília
Sebastien Roux – LIMSEN
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)
Trayana Tankova – Universidade do Coimbra (FCTUC)
Vera Cibele Neves Marques – Universidade Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Zita Sampaio – Universidade de Lisboa (IST)

Patrocinadores

Platina

Ouro

Prata

O ptBIM nasceu já há praticamente 6 anos, com a primeira edição organizada na Escola de Engenharia da Universidade do Minho, mas com o compromisso de ser um congresso itinerante, e com periodicidade de cerca de 2 anos. Depois da primeira edição, que contou com 52 artigos, foi testemunhado um crescimento crescente ao longo das várias edições, com 67 na segunda edição (Lisboa - IST) e 89 artigos na terceira edição (Porto - FEUP). Na presente edição, a comunidade voltou a crescer, tendo-se atingido uma participação global de 99 artigos aceites e incluídos nas presentes atas. Este crescimento ao nível do número de artigos levou também à confirmação da necessidade do alargamento da duração do evento em modalidade presencial, de 2 para 3 dias. Assinala-se também o equilíbrio interessante entre artigos com génese puramente académica e artigos da indústria, bem como um número significativo de artigos resultantes da interação direta entre indústria e academia, numa verdadeira lógica de transferência de conhecimento. Nota-se também uma clara evolução da atenção nos artigos das várias edições dum foco na novidade e modelação 3D para um foco centrado na adequada gestão de informação e colaboração, bem como interação com outras indústrias e novas tecnologias. O foco na normalização de processos e dados, com importante contributo da CEN442 e CT197-BIM está também patente em vários artigos, com particular ênfase na preparação de Sistema de Classificação Nacional e de base de dados para '*Product Data Templates*', entre outros.

O ptBIM atinge assim um nível de maturidade elevado que o leva a ser reconhecido por várias entidades como um dos mais importantes eventos em BIM a nível global, para o qual também concorre o naipe de oradores internacionais de exceção, que aceitaram emprestar a sua contribuição ao nosso evento. A todos o nosso muito obrigado.

Confirmando a tendência de internacionalização das edições anteriores, nas quais já havia expressão significativa de trabalhos originários do Brasil, o 4º ptBIM, assumiu-se desde a sua génese como o congresso de BIM na língua Portuguesa, e contando com Comissão Internacional representando vários países de Língua Oficial Portuguesa. Uma celebração do BIM Lusófono!

O Capítulo Português da buildingSMART começou a ser desenhado durante o 2º ptBIM. Depois de ter ultrapassado anos de dificuldade acrescida na recolha de apoios para a sua viabilização, conseguiram-se alcançar as condições necessárias para a sua génese e entrada em funcionamento. O nosso país já urgia a ter uma voz nesta organização, acrescendo ser uma feliz coincidência o facto da congénere Brasileira, também agora apresentar a sua candidatura à buildingSMART Internacional, numa contribuição para o reconhecimento do BIM em Português. Agora resta-nos continuar a

trabalhar para que esta iniciativa possa crescer e amadurecer contribuindo para a melhor representação possível de Portugal, na comunidade internacional do OpenBIM.

É também importante assinalar que o ptBIM sofreu os efeitos da pandemia COVID-19 na sua 3ª edição, que forçou a que o evento ocorresse '*online*'. Foi, felizmente, num contexto mais favorável que se organizou a presente edição com possibilidade de reencontro físico de todos os participantes, proporcionando todas as oportunidades adicionais de conexão inerentes aos contactos pessoais.

O 4º ptBIM decorre em Braga, com organização local pela Universidade do Minho, em iniciativa conjunta da Escola de Engenharia e da Escola de Arquitetura, Arte e Design. O congresso compreende os dias 4, 5 e 6 de Maio de 2022, contando com diversos momentos de interação, incluindo oradores convidados internacionais, sessões de apresentação plenárias e paralelas e seminários. Aproveitou-se a oportunidade do regresso do ptBIM à Universidade do Minho para criação de nova identidade gráfica do congresso, com a explícita intenção de exprimir a constante necessidade de mudança e reinvenção inerente aos processos BIM.

A Comissão Organizadora contou com o apoio de secretariado e investigadores diversos na UM, a quem se apresenta um sincero agradecimento. É também de assinalar o trabalho voluntário dos membros da Comissão Científica que contribuíram de forma muito importante para a garantia de qualidade técnico-científica dos artigos aceites/publicados.

Seguindo a tradição do Congresso, as atas da conferência são publicadas em formato desmaterializado ('*online*', e nesta edição com o apoio da UMinho Editora) e de forma aberta.

Os Editores:

Miguel Azenha
José Carlos Lino
José Granja
Bruno Figueiredo
João Poças Martins

Prefácio 9

Índice 11

Parte I – Arquitetura 17

BIM como ferramenta multidisciplinar em todas as fases do processo Arquitetónico 19
Rita Nogueira, Teresa Afonso

Implementação BIM na NLA 28
Teresa Afonso, Rita Nogueira

BIM e Arquitetura: Da aprendizagem à prática 38
Carolina Rua, Francisco Teixeira Bastos, António Aguiar Costa

Conceção de *software* de Arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho OPEN BIM 50
Paula Assis, Ricardo Figueira, Paulo Oliveira, Carlos Costa

Algoritmos de aprendizagem Computacional para a Modularização de projetos de Arquitetura 62
Sofia Feist, Luís Sanhudo, Vítor Esteves, Miguel Pires, António Aguiar

Tecnologia de impressão 3D aplicada em processos de projeto de Arquitetura e Engenharia 75
Daniel Moutinho, Pedro Ferreira

Parte II – Construção 85

Fluxograma para projetos BIM 4D: Experimentação e proposta de aprimoramento em um grupo de pesquisa em Natal, Brasil 87
Daniel de Oliveira, Leo Azevedo, Josyanne Giesta, Alfredo Costa Neto

Análise do quantitativo extraído via método convencional e tecnologia BIM para os revestimentos 96
Gustavo Macedo Miranda, Danielle Meireles de Oliveira, Marys Lene Braga Almeida, Sidnea Eliane Campos Ribeiro

BIM na gestão de projetos de construção: Barreiras e orientações para os gestores de projetos 108
Gabriela Fernandes, João Pedro Couto

A importância do BIM no empreiteiro geral em processos de conceção-construção 120
Carlos Neto, Carlos Carvalho, Adriana Ferreira

Otimização da construção civil com a filosofia "Lean construction" 132
Gustavo Josias da Silva, Fernanda Ferreira

Lean construction: A necessidade de uma abordagem integrativa 144
Juliana Folgosi, Fernanda Ferreira

Real world lessons that can assist construction organisations in implementing BIM to improve the OSH processes 155
Manuel Tender, Paul Fuller, Alex Vaughan, Marc Long, João Couto, Peter Damien, Vivien Chow, Firmino Silva, Francisco Reis, Ricardo Reis

BIM, digitalização e estratégia de industrialização do sector AEC 168
Miguel Pires, Pedro Carneiro

Desenvolvimentos na automação da extração de quantidades – Projeto Metabuilding 180
Filipe Lima, Sébastien Roux, Tiago Pedro, Ricardo Pontes Resende

A sinergia entre o BIM-LEAN-GREEN aplicado nas adequações das edificações religiosas pós-pandemia 192
Geórgia Jereissati, José Oliveira, José Cavalcante, Francisco Oliveira

Modelação da Informação e ferramenta digital orientadas à produção automática do MQT no contexto da disciplina de Arquitetura 204
Lucas Vieira, Marta Campos, José Granja, Miguel Azenha

BIM em projeto para manufatura e montagem na indústria AECO 4.0: Metodologia para a otimização e automação da produção de paredes divisórias 216
Tiago Santos, Bruno Figueiredo, Miguel Pires, Pedro Carneiro

Obra: Otimização – Preparação – Pré-fabricação 228
Pedro Ferreirinha

A transformação digital de uma construtora portuguesa – Implementação holística de processos BIM 239
Juliana Mizumoto, Fábio Araújo, João Ferreira, José Carlos Lino

Engenharia do conhecimento – Uma abordagem da interação BIM e LEAN 250
Thayane Rezek, Maria Freitas, Sérgio Scheer

Parte III – Especialidades e Infraestruturas 263

Desafios de interoperabilidade entre BIM e BEM 265
Jairo B. Picott, Lucas Vieira, Mário Coelho, José Granja, José C. Matos, Miguel Azenha

Making BIM tangible: Our experience within a challenging project 277
Alexandre Marques, Ana Rei, Alejandro Romero, Hélder Pereira

Utilização de BIM na melhoria do desempenho energético em edifícios comerciais 287
Rodrigo C. Betim, Maria João Falcão Silva, Fernando F. S. Pinho

Revisão bibliográfica: Uso do BIM em projetos de infraestrutura de transportes 298
Isabela Ferreira

Industrialização de instalações de edifícios – BIM e pré-construção modular 310
Daniel Vale, João Pedro Mendonça, Miguel Azenha, Miguel Pires

Desafios BIM na implementação do plano geral de drenagem de lisboa 323
Tiago Andrade Gomes, Gonçalo Diniz Vieira, Luís Ribeirinho, Ricardo Pontes Resende, António Hipólito, Francisco Rocha

Parte IV – Estruturas 335

Automatização do detalhe de armaduras de elementos de betão armado em ambiente BIM 337
Kleber Oliveira, José Pedro Faria, Marco Vieira, José Miguel Castro

BIM – Based seismic analysis of existing reinforced concrete buildings 347
Muhammad Yasir, Luís Guichard Castro, Hugo Rodrigues, Miguel Azenha

Design generativo aplicado à estruturas: Otimização do plano de corte dos painéis de tela soldada em paredes de concreto 359
Gabriel P. Veloso, Danielle M. Oliveira, Carmen Ribeiro, Sidnea Ribeiro

As potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão 371
Carlos Serra

Compression-only precast block construction system using BIM and custom interoperability tools for collaboration between Engineers and Architects 383
Lombe Mutal, Carlos Gome, Bruno Figueired, Miguel Azenha

A integração do BIM na reabilitação de "agregados" em alvenaria 394
Maria Laura Leonardi, Daniel V. Oliveira, Miguel Azenha

Proposta de normativo para aplicação e verificação do BIM no desenvolvimento de projetos-tipo de obras de pontes e viadutos 406
Paulo Alberto S. Santos, Filipe C. Ciríaco, Ramon Saleno Y. R. C. Silva

Impressão 3D na construção metálica 417
Trayana Tankova, Carlos Zhu

Metodologia BIM para a avaliação do desempenho em serviço de estruturas de betão armado com análise não-linear 425
Renato Correia, Carlos Sousa, Miguel Azenha

Automatização da geração de armaduras e organização de quadro de pilares em ambiente BIM 436
Fernando Miranda, Ruben Rodrigues

Aplicação da metodologia BIM na monitorização da segurança de barragens de aterro 447
Aline Heleno, Miguel Azenha, Laura Caldeira, Maria João Silva

Digitalização de informação na inspeção remota de estruturas de betão armado com recurso a inteligência artificial 458
Eurico Carola, Ricardo Santos, Diogo Ribeiro, Gustavo Nina, Rafael Cabral, Nuno Pinto

Parte V – Gestão do Património Edificado e Sustentabilidade 471

HBIM: Documentação do Patrimônio Arquitetónico através de nuvem de pontos 473
Franciny Santos, Fábio Freire, Victor Cremonez

Metodologia para interoperabilidade BIM-FM baseada em base de dados relacional 483
Marina Trabulci, Miguel Azenha

Digital Twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab 494
Pedro Nogueira Martins, Gonçalo Pereira, Luís Sanhudo, António Aguiar Costa

Normalização de bibilioteca Heritage-BIM: Os claustros conventuais Serlianos de Lisboa através de objetos genéricos compostos 506
Ana Gil, Ana Tomé

Aplicação de gémeos digitais na indústria da construção – Estado da arte 522
Anderson Garcia, Bianca Gabalde, Gabriel Borges, Murilo Bruza, Eduardo Santos, Fabiano Correa

Metodologias de modelagem HBIM em adornos Arquitetónicos 534
Nolla Leda Maria, Paulino Giovane Zandonade Giacaglia, Marcelo Eduardo Pinheiro, Maria Lúcia Bressan

Integração de metodologias de avaliação do ciclo de vida em ferramentas BIM 546
Maria Teresa Ferreira, António Aguiar Costa, José Dinis Silvestre

Manutenção preventiva de edifícios com recurso ao BIM 558
Raquel Matos, Hugo Rodrigues, Ana Dinis Alves, Aníbal Costa, Fernanda Rodrigues

Inteligência artificial aplicada à gestão do ambiente construído: Revisão de literatura 569
Rodrigo Pedral Sampaio, António Aguiar Costa, Inês Flores Colen

Digital Twins em redes ferroviárias e rodoviárias – Uma revisão sistemática da literatura 580
João Vieira, Hugo Patrício, Nuno Almeida, João Morgado, João P. Martins

Desenvolvimento de requisitos de informação para o Facility management de uma cantina universitária 593
Andressa Oliveira, Taís Magalhães, Filipe Finco, José Granja, Miguel Azenha

Ligação dinâmica de dados em ambiente BIM: Aplicação à gestão de um edifício universitário 605
Rita Machete, Jonatan Villavicencio, Ana Paula Falcão, Alexandre B. Gonçalves, Rita Bento

Aplicação de conceitos de gémeo digital e BIM: Estudo de caso na gestão de pontes e viadutos 618
Guilherme Lima, Leonardo Factori, Magda Junqueira, Rodrigo dos Santos, Lucas Borba, Otávio Gonçalves

Adoção de BIM para economia circular no setor da construção 630
Thayane Rezek, Sérgio Scheer, Sérgio Tavares

Sistemas de classificação de informação da construção adaptados à sustentabilidade: Experiência internacional relevante 642
Rodrigo Lima, Filipa Salvado, Maria João Falcão Silva, Paula Couto

Parte I – Arquitetura

BIM como ferramenta multidisciplinar em todas as fases do processo arquitetónico

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.1

Rita Nogueira[1], **Teresa Afonso**[2]

[1,2] *NLA – Nuno Leónidas Arquitectos, Lisboa*

Resumo

Apresentamos um Caso de Estudo de um Projeto envolvendo Arquitetura e diversas Especialidades para uma Unidade Hoteleira localizada no Algarve. As metodologias e processos BIM tiveram um papel fundamental em todas as fases do projeto, inicialmente na análise e conceção tridimensional do terreno, passando pelo Estudo Prévio, Projeto de Licenciamento e culminando no Projeto de Execução. Todo o processo foi desenvolvido por uma vasta equipa a partir de modelos federados realizados no programa *AutodeskRevit*, desenvolvendo desta forma o projeto em ambiente colaborativo com recurso a ferramentas e metodologias BIM. A estratégia adotada permitiu a sistematização de processos, salientando-se a otimização da produção de peças desenhadas e escritas e a coordenação e colaboração 3D eficaz entre as várias disciplinas. A coordenação e revisão das diversas fases do Projeto foram efetuadas com recurso a outros interfaces colaborativos em tempo real, como *BIM Collab* e *BIM 360*. O controle e automação dos processos de quantificação decorreu da elaboração dos mapas de quantidades a partir das bases de dados paramétricas associadas aos modelos tridimensionais com recurso a programas da *OpenBIM*. Consequentemente, foi possível minimizar discrepâncias entre os elementos de projeto, garantindo que um dos principais objetivos iniciais tenha sido alcançado com sucesso.

1. BIM no processo arquitetónico

1.1. Building Information Modelling vs Building Information Management

Recorrentemente BIM é entendido apenas como a criação de documentação de forma automática, descurando todas as outras funções e benefícios que podem advir da utilização destas metodologias. O acrónimo BIM pode ser associado tanto ao processo (*building information modelling*) como ao modelo (*building information model*), e ainda à informação presente no modelo (*building information management*) [1]. Inicialmente, o desafio que era associado à modelação, passou a ser focado no processo de como estas representações podem ser utilizadas, de como gerir a informação modelada de forma eficiente e eficaz para o projeto. O projeto pode ser definido como um processo cujo objetivo é transformar o problema (requisitos do cliente) em solução (elemento construído).

2. BEP, LOIN, *BIM Uses e BIM Maturity Level*

BEP e LOIN

Antecedendo o desenho arquitetónico, há que ter em conta alguns conceitos, definições e *standards* essenciais ao desenvolver do projeto.

A primeira etapa consistiu em desenvolver o BEP – *BIM Execution Plan* de acordo com as necessidades e expectativas do cliente, baseado no EIR – *Exchange Information Requirements* com a definição do LOIN (*Level of Information Need*) que permitisse delinear o processo de forma organizada e coerente. O BEP constituiu uma ferramenta fundamental à estruturação do trabalho, uma vez que define toda a informação que deve constar no projeto e também os usos a que este se destina (BIM *Uses* [2]). Na Fig.1 é visível a tabela que define estes usos dentro do BEP desenvolvido.

NLA nuno leónidas arquitectos

Produção
BEP – BIM Execution Plan
MAN_04_01_| 2020/03/23

08. Project Goals and Model uses

Project goals / uses	Yes	No	Responsible party
Site utilization planning	x		NLA
Construction system design	x		NLA
Digital fabrication		x	
3d control and planning	x		NLA
3d coordination	x		NLA
Design authoring	x		All project teams
Engineering analysis	x		Structural Team
Facility energy analysis		x	
Structural analysis		x	
Sustainability evaluation		x	
Code validation			
Design reviews	x		NLA
Programming		x	
Site analysis		x	
Phase planning		X	
Cost estimation	x		NLA
Existing conditions modelling		x	
Existing topography	x		NLA + Landscaping Team

Figura 1
Usos BIM definidos no BEP – *copyright* NLA.

BIM Uses e BIM Maturity Level

Para o Projeto em causa, os usos BIM definidos compreendiam documentação e detalhe 2D e 3D, visualização 3D, *clash detection*, mapa de quantidades e estimativa orçamental. Estando identificados e definidos os usos, estabeleceu-se que o LOIN deveria ser entre encaixado entre o 250 a 300, uma vez que seria necessário utilizar o modelo para quantificação e orçamentação. Estes elementos permitem encaixar o projeto apresentado num nível de maturidade entre C e D, gerido/integrado de acordo com os níveis de maturidade BIM definidos pelo BIMeInitiative, visíveis na Fig.2 [3].

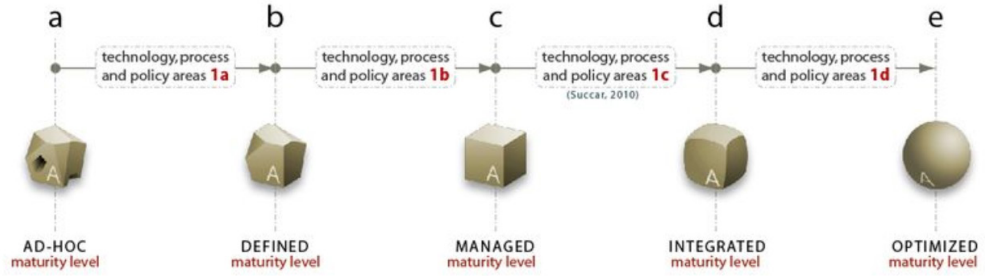


Figura 2
Níveis de maturidade BIM definidos pelo BIMInitiative [3].

Uma vez definidos estes elementos, foi possível avançar para a definição e modelação da proposta arquitetónica, cujo processo será exposto no capítulo que se segue.

3. Estudo de Caso

BIM pode ser entendido como o conjunto de ferramentas e metodologias essenciais na representação digital do ambiente construído durante todo o ciclo de vida de um elemento fabricado. [4] O presente artigo pretende apresentar a aplicação BIM no processo arquitetónico, utilizando como exemplo um projeto da autoria da NLA – Nuno Leónidas Arquitectos. O projeto compreendeu as fases de Estudo Prévio, Licenciamento e Projeto de Execução. O *Autodesk Revit* foi utilizado desde a fase inicial, onde o custo das alterações ainda é menor [5] e onde houve um esforço maior de modelação e gestão de fluxos de trabalho. Não obstante, as mais valias foram evidentes, tendo sido tirado partido da construção do modelo tridimensional para exploração de diferentes opções de projeto, atualização expedita de peças desenhadas e criação de imagens foto realistas. Na imagem abaixo, as fases de Estudo Prévio (esquerda) e Execução (direita), entre as quais a zona da piscina foi redesenhada e alterada a sua localização. Esta alteração teve bastante impacto nas peças desenhadas, sendo que a sua produção foi otimizada devido a decisão da modelação integral do terreno/arranjos paisagísticos. Com esta opção garantiu-se uma representação fiel e apurada do conjunto arquitetónico, que por vezes é apenas entendido como o edificado, descurando a representação da envolvente.

Figura 3
Imagens 3D realizadas a partir do modelo BIM desenvolvido – *copyright* NLA.

4. Equipa de Projeto, Interoperabilidade e CDE's

Este projeto foi desenvolvido com recurso a tecnologias, processos e *standards* BIM durante todas as fases do projeto, em permanente colaboração com outras equipas. A extensa equipa de projeto constituía um desafio à questão da interoperabilidade, uma vez que diferentes intervenientes utilizavam diferentes *software*, no entanto, a colaboração foi alcançada ao longo de todo o processo. As plataformas de *CDE – Commmon Data Environment* utilizadas foram a *Autodesk 360* e o *BIM Collab*. O último revelou-se particularmente eficiente na gestão da comunicação entre equipas, com recurso a *BCFs - Building Collaboration Formats*, onde as alterações eram descritas e comunicadas de imediato com os intervenientes (tal como exemplifica a Fig.4), uma vez que este formato permite a sincronização imediata com o *Autodesk Revit*, *software* que foi utilizado para a autoria dos projetos tanto pela arquitetura como por todas as especialidades.

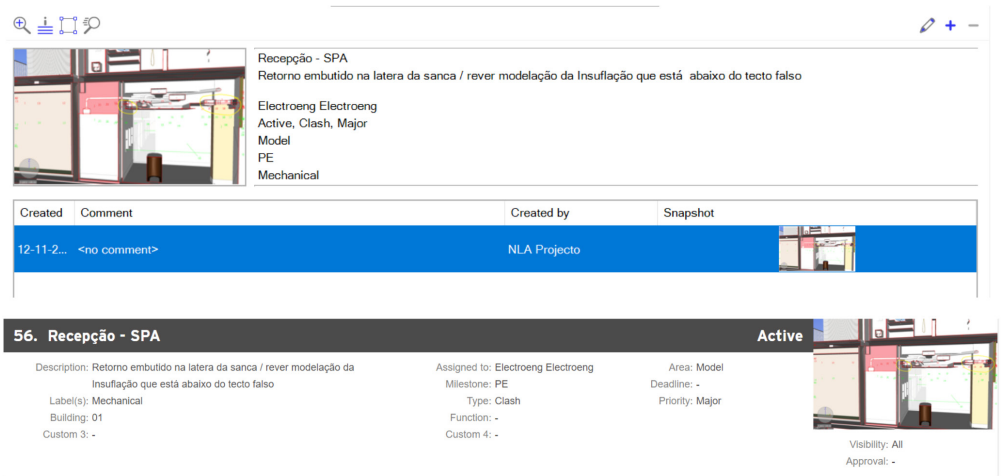


Figura 4
Exemplo de BCF na plataforma de CDE – *copyright* NLA.

A troca de informação relativa aos modelos foi realizada através da *Autodesk 360*, sendo carregados/descarregados pelas equipas semanalmente e posteriormente ligados entre si. A gestão dos modelos na plataforma de CDE ficou a cargo do BIM *Coordinator* da NLA associado ao projeto. Esta solução facilitou os fluxos de informação – eliminação do *email* como meio de partilha de ficheiros – e salvaguardou o arquivo de informação – diversas versões disponíveis num único ambiente. Este projeto revelou-se particularmente interessante e desafiante para testar os temas

acima mencionados dada a sua dimensão, complexidade e número de intervenientes envolvidos.

5. Proposta Arquitetónica e Metodologia de trabalho aplicada

Proposta Arquitetónica

A proposta arquitetónica é composta por quatro edifícios principais numa única propriedade horizontal – um hotel e três edifícios de apartamentos e três edifícios de apoio – bar, edifício técnico (portaria e posto de transformação) e resíduos urbanos, distribuídos ao longo de um terreno íngreme junto à praia. O edifício do hotel, constituído por 58 quartos e 2 suites no corpo principal e 59 apartamentos T1 e T2 em 3 corpos secundários. No corpo principal, além da componente de alojamento tem as diversas componentes sociais como Receção, *Lobby*, Bar, Restaurante e SPA e componentes de Serviços Gerais, como Cozinha, Economatos e Áreas de *Staff*.

Metodologia de Trabalho Aplicada

Devido à escala e complexidade do projeto ilustrado na Fig.6, foi necessário dividir os modelos correspondentes aos diversos edifícios, de forma a otimizar os processos de trabalho. Como é ilustrado no esquema apresentado na Fig. 5, foi ainda criado um modelo de coordenação (federado), cujo objetivo era alojar os restantes modelos e permitir coordenação de todas as disciplinas.

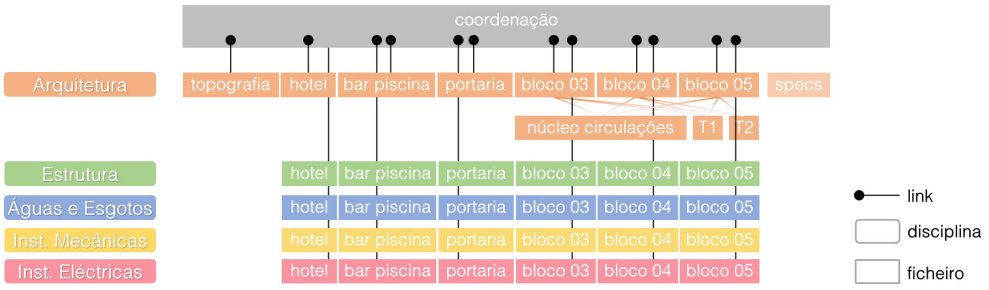


Figura 5
Esquema de organização dos ficheiros – *copyright* NLA.

De uma forma geral, a separação dos modelos foi feita por edifício. Foram também isolados os elementos comuns aos vários edifícios do projeto, por forma a suprimir a duplicação de modelação, inform ação e eventuais alterações. Os elementos comuns são constituídos pelo núcleo de circulações e pelas tipologias dos apartamentos. Para estes foi feito o *link* nas posições correspondentes nos respetivos edifícios. Esta opção permitiu uma melhor gestão das licenças do programa, uma vez que trabalhando com *links* não houve a necessidade de implementar modelos centrais. Também permitiu diferentes equipas internas trabalharem simultaneamente, bem

como uma melhoria na performance do *hardware*, uma vez que o processamento da informação era mais reduzido.

Figura 6
Modelação do Conjunto Arquitetónico – *copyright* NLA.

No que respeita ao edifício do hotel, a opção foi a de usar um modelo central utilizando grupos para os tipos de quartos, pois tratando-se de um edifício com uma escala maior e de maior complexidade, existiu sempre a necessidade de vários colaboradores a trabalhar em simultâneo.

A modelação do terreno foi feita também num ficheiro *Revit* independente, com base no levantamento topográfico recebido em CAD (.dwg). Este foi posteriormente adaptado à proposta arquitetónica desenvolvida, sendo por isso modeladas as fases de existente e proposta. A topografia constituiu um desafio, uma vez que se tratava de um terreno complexo, contido por numerosos muros de suporte. Este desafio foi ultrapassado com recurso a ferramentas de outros programas como o Civil 3D, bem como à modelação de certos elementos com outras categorias por forma a garantir uma melhor representação dos mesmos. Um exemplo foi a modelação dos muros de suporte – que por defeito seriam modelados com paredes (*walls*) com elementos da categoria de *railings,* o que permitiu a adaptação automática destes elementos à topografia, sem necessidade de intervenção adicional. Esta opção encurtou significativamente o tempo de produção, uma vez que eliminou o processo de editar individualmente o perfil dos muros, uma tarefa morosa e complexa.

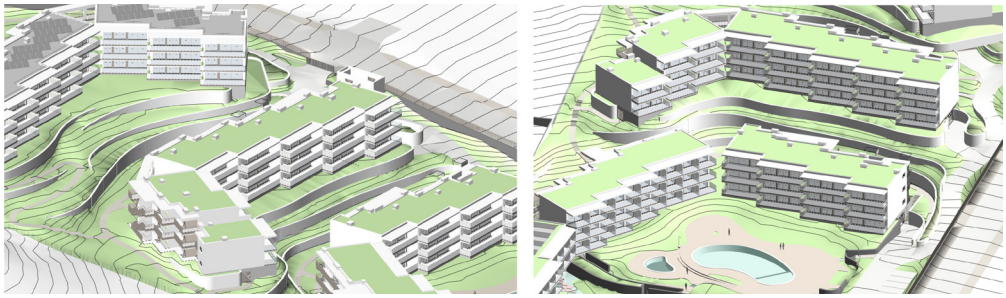


Figura 7
Vista do conjunto edificado e arranjos paisagísticos – terreno, muros de suporte e caminhos pedonais – *copyright* NLA.

Foi ainda criado um ficheiro de biblioteca de elementos, visível na Fig.8, organizado de acordo com o sistema de classificação CI/SfB [6], que é o utilizado internamente. Neste foram modeladas e codificadas todas as soluções construtivas definidas, bem como preenchida toda a informação relevante para elementos desenhados de projeto e mapa de quantidades. O objetivo principal deste ficheiro era o de congregar num único local todas as soluções construtivas adotadas (paredes, pavimentos, tetos, guardas, entre outros), possibilitando o carregamento (*load*) dos elementos para os vários edifícios em simultâneo e garantindo a uniformidade das soluções definidas em todos os modelos. Este ficheiro esteve em constante evolução e crescimento ao longo de todo o processo, e revelou-se fundamental para a gestão de informação em fases mais avançadas do projeto. Facilitou não só eventuais alterações e *re-load* para o projeto, mas também a consulta de especificações para mapa de quantidades e medição dos elementos.

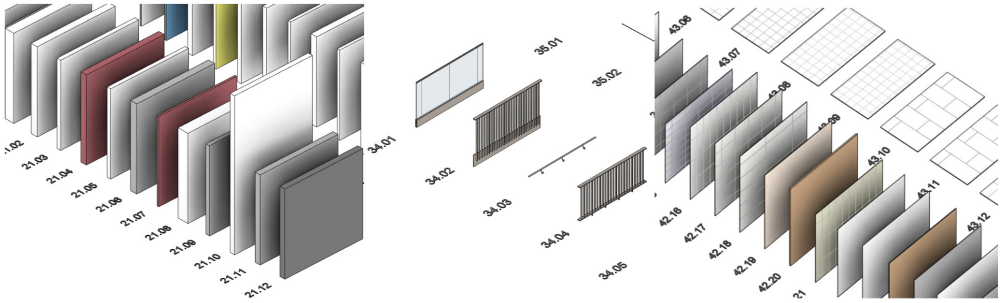


Figura 8
Ficheiro de biblioteca do projeto (*showcase*) – *copyright* NLA.

Sendo um dos objetivos do projeto (*BIM Uses*) a medição e orçamentação de toda a proposta arquitetónica, a modelação e introdução de informação foram orientadas nesse sentido. O sistema de classificação utilizado foi inserido num parâmetro partilhado comum a todos os objetos, para posteriormente ser lido na plataforma *OpenBim* e ligados a bases de dados de custo e descritivos para o concurso de empreitada. Numa fase final, os ficheiros foram exportados no formato IFC – *Industry Foundation Classes* , tendo em conta a preparação e definição dos *Property Sets* adequados, por forma a garantir a interoperabilidade entre os diversos *softwares*. A criação de rotinas em *Dynamo* que têm vindo a ser desenvolvidas na NLA desempenhou também um papel fundamental na fase de medição, uma vez que permitiu agilizar o cálculo de alguns elementos, como escadas e respetivos revestimentos.

6. Principais Vantagens e Desvantagens da Metodologia aplicada

Com um entendimento claro dos entregáveis, da gama mais apropriada de *software* para o seu desenvolvimento, e da interoperabilidade entre as várias ferramentas aplicadas, os BIMs tornam-se um centro de intercâmbio de informação durante a fase de planeamento de um projeto e para além dele. [7] Qualquer metodologia e/ou *software* escolhidos terão sempre vantagens e desvantagens. É necessário ponderar as opções e adaptá-las à necessidade do cliente e da equipa projetista. De uma forma geral, as mais valias superaram os inconvenientes no ponto de vista do âmbito geral do projeto. A decisão de dividir o projeto em diversos ficheiros otimizou bastante o fluxo de trabalho, tanto relativamente a recursos de *hardware* (capacidade de processamento das máquinas) como de recursos humanos (gestão de equipas), no entanto comprometeu questões menores de grafismo (impossibilidade de fazer *join* entre *links*, por exemplo). Quanto à resolução de modelar integralmente o terreno e elementos de paisagismo, numa fase inicial constituiu um processo mais demorado, no entanto, em fase de produção, automatizou e simplificou significativamente a representação do terreno em elementos gráficos. Também o tempo dedicado à modelação de famílias de objetos exclusivas ao projeto, foi extenso, tendo sido observado a o seu valor acrescentado em fases de Projeto de Execução, facilitando a criação de mapas, detalhes construtivos e a quantificação.

7. Desenvolvimentos Futuros

Futuramente, com a formação contínua das equipas de projeto e a sensibilização do dono de obra para a necessidade do BIM, espera-se conseguir integrar alguns procedimentos desde as fases iniciais de projeto, aumentando o impacto e minimizando o esforço em fases posteriores. [5]. É também objetivo da NLA continuar a desenvolver e entregar ao cliente projetos integrados, procurando atingir um nível de maturidade BIM mais elevado. [8] Pretende-se aumentar ainda mais a digitalização dos entregáveis, desmaterializando e tirando partido de tecnologias de realidade aumentada e virtual por forma a aproximar o cliente e/ou dono de obra do projeto e processo arquitetónicos. É também um objetivo que num futuro próximo os modelos desenvolvidos possam ser utilizados numa perspetiva de continuidade noutras dimensões do BIM, como planeamento de obra e gestão de instalações, estando presentes em todo o ciclo de vida do projeto.

Referências bibliográficas

[1] Z. Turk, "Ten questions concerning building information modelling," *Elsevier - Building and Environment,* pp. 274-284, 2016.

[2] "BIMExcellence," BIMeInitiative 211in Model Uses Table, [Online]. Available: https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/211in-Model-Uses-Table.pdf. [Acedido em 21 12 2021].

[3] T. B. Framework, BIMeInnitiative, 30 12 2013. [Online]. Available: https://www.bimframework.info/2013/12/bim-maturity-index.html. [Acedido em 30 12 2021].

[4] S. Hamil, NBS, 09 09 2021. [Online]. Available: https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim. [Acedido em 20 12 2021].

[5] P. MacLeamy, "Project Effort and Impact," [Online]. Available: http://www.buildingsmartsd.org.

[6] R. Publishing, CI/SfB Construction indexing manual, London: RIBA Publishing, 2002.

[7] D. Holzer, "BIM's seven deadly sins," *International Journal of Architectural Computing,* vol. 09, nº 04, p. 469, 2011.

[8] H. A. S. E. Rabia Charef, "Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views," *Journal of Building Engineering,* vol. 19, pp. 242-257, 2018.

Implementação BIM na NLA

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.2

A. Teresa Afonso[1], **Rita Nogueira**[2]

[1,2] *NLA – Nuno Leónidas Arquitectos, Lisboa*

Resumo

A NLA é uma empresa com mais de 40 anos de experiência. Ao longo do tempo a equipa soube acompanhar a tecnologia e adaptar as metodologias de trabalho às inovações tecnológicas. Em 2007 implementámos *software* BIM e os benefícios têm sido claros: melhor qualidade de projeto e maior produtividade da equipa.

Nos últimos anos, a NLA tem investido cada vez mais no BIM: *software, hardware*, formação da equipa e implementação de procedimentos, essencial num atelier de grande escala. A nossa equipa de BIM está em constante formação e atualização. No entanto, na NLA não separamos o BIM da conceção do projeto. Chefes de projeto, arquitetos, especialistas BIM, todos trabalham diariamente em conjunto para apresentar os melhores resultados. Os projetos são desenvolvidos desde o início em *software* BIM, a começar com a fase de conceção. Os modelos são partilhados com os nossos parceiros através de plataformas na *cloud*; as questões relativas aos modelos e ao projeto são reportadas através de BCFs partilhados em tempo real; os modelos são revistos em *softwares* de coordenação BIM; e as medições/orçamentos são extraídos diretamente dos modelos BIM através de *software* específico. A NLA foi um dos primeiros ateliers em Portugal a implementar o BIM, acumulando já 15 anos de experiência na área, com uma abordagem prática do início ao fim do projeto. Com esta partilha de conhecimentos esperamos contribuir para uma melhor utilização do BIM inserido nas necessidades práticas do dia-a-dia de um atelier de Arquitetura, expondo metodologias e procedimentos.

1. Introdução

Com este documento pretende-se resumir a abordagem BIM da NLA, naquilo que foi a sua estruturação e implementação de novas metodologias de trabalho, não só ao nível do *software* e das novas ferramentas, mas também, na estruturação das equipas e da formação dos seus colaboradores.

2. Benefícios da implementação BIM na NLA

Os benefícios do BIM refletem-se ao nível do projeto, da construção e da vida do edifício. Sendo a NLA um atelier que desenvolve projetos de elevada dimensão e complexidade, o BIM releva ser o instrumento que permite o melhor controlo e gestão da informação a este nível de exigência. O tipo de projetos que o atelier desenvolve são maioritariamente habitação, hotelaria e espaços de escritórios, todos estes tipos de edifícios, são caracterizados por alguma repetição tipológica, o que permite uma estandardização da modelação e dos outputs, facilitados pelas tecnologias BIM.

Atualmente a facilidade em provar um conceito com o modelo BIM, através das visualizações 2D e 3D logo numa fase muito inicial do projeto, tem-se revelado essencial na satisfação do cliente, por lhe permitir, muito cedo, ter uma ideia clara e objetiva do projeto. Toda a informação inserida, trabalhada e retirada do modelo, permite rapidamente, ter uma breve análise da exequibilidade, dos custos e dos benefícios do projeto e consequentemente a qualidade do edifício e o seu ciclo de vida.

Para a NLA foi sempre crucial a comunicação com as equipas parceiras, o que através do método tradicional 2D complementado por trocas de emails, se revelou muito aquém das expectativas e das necessidades. As novas ferramentas associadas ao BIM vieram trazer uma nova realidade nas formas de comunicação, que não sendo ainda as ideais, representam certamente uma melhoria.

Numa equipa de grande dimensão com projetos complexos e extensos, a possibilidade de trabalharmos com uma série de automatismos, permitidos apenas através do BIM, como a atualização de todas as peças desenhadas após a alteração do modelo, revelam uma grande mais-valia ao nível da produtividade da equipa, poupando extensas horas em correções de desenhos 2D. Através dos modelos, tem-nos sido possível desde o início do estudo do projeto, ter uma ideia realista dos custos do projeto, o que permite uma adaptação das soluções ao orçamento do cliente, ainda antes de avançarmos para o projeto de execução.

Com o nível de detalhe que a NLA prepara os seus modelos é possível uma análise prévia da eficiência e sustentabilidade do edifício, permitindo fazer ajustes ao projeto atempadamente.

A facilidade na comunicação de alterações através das novas plataformas, permitem uma rápida deteção de erros e omissões e compatibilização de especialidades.

A possibilidade de o modelo poder ser usado pelo construtor para planeamento da obra e do local de obra e no futuro para a gestão e manutenção do edifício representa uma grande mais-valia para a NLA.

3. Desafios e dificuldades da implementação BIM na NLA

O maior desafio tem sido a dificuldade das equipas na transição da metodologia CAD 2D para BIM, principalmente da parte dos elementos sénior da equipa, já com metodologias e hábitos muito enraizados. O BIM traz novos métodos, novas ferramentas e novas aprendizagens que nem sempre são de fácil adaptação.

A contratação de colaboradores com conhecimento BIM tem sido uma grande dificuldade, para a NLA. A aprendizagem e formação BIM, embora em crescimento, tem ainda pouca expressão em Portugal. A maioria dos arquitetos séniors não investe pessoal e profissionalmente no BIM e grande parte dos arquitetos recém-licenciados durante o seu período académico não teve nenhum tipo de formação BIM. Da nossa experiência concluímos que existe uma percentagem de jovens arquitetos que tomam a iniciativa de frequentar cursos extracurriculares BIM. No nosso entender a oferta formativa está desajustada da realidade do mercado de trabalho, nomeadamente no que às necessidades do dia-a-dia num atelier de arquitetura diz respeito.

A necessidade constante de formação tem sido um desafio. No entanto, na NLA tem sido feito um grande investimento de tempo e de recursos humanos através de vários métodos para fomentar a formação e interesse BIM. Os nossos colaboradores têm acesso a uma biblioteca com documentação auxiliar, a exercícios de aprendizagem específicos e direcionados às suas dificuldades, ações de formação pensadas nas necessidades da equipa, à gravação das várias ações de formação, e contam com a disponibilidade de BIM *coordinators* e BIM *manager* para esclarecimento de dúvidas e solução de problemas. Os novos elementos, à sua chegada, passam por uma fase de iniciação, que é no fundo um *workshop*, com formação base de BIM e do *software*, através de aulas individuais e desenvolvimento de exercícios adaptados às metodologias da NLA.

Os diferentes níveis de BIM das várias equipas parceiras têm sido fator negativo na evolução dos procedimentos, o que afeta a maximização dos benefícios BIM, atrasa o ritmo do trabalho e põe em causa o *output*.

Como é de conhecimento geral, um dos grandes desafios para todos os ateliers em Portugal tem sido a falta de flexibilidade camarária na submissão dos processos, que privilegia o método tradicional do CAD e DWFs. Isto, obriga a utilização de processos alternativos que obrigam a horas de trabalho desnecessário. Por exemplo, a necessidade de submeter DWFs com *layers* representa muito tempo de preparação dos ficheiros, uma vez que o software BIM não exporta por defeito DWFs com *layers*. Sendo, necessário exportar os desenhos para CAD, tratá-los, corrigir erros de exportação, e depois exportar para DWF. É importante referir que este é apenas um exemplo de vários. A adaptabilidade e modernização dos processos camarários devia ser um dos

objectivos nacionais para o desenvolvimento da indústria AEC, até porque são poucos os ateliers com recursos humanos e financeiros que lhes permitam investir em automatismos alternativos.

É, também, importante frisar o custo que o investimento BIM representa para as empresas, o custo dos softwares e das plataformas BIM, o custo da formação das equipas e dos equipamentos que precisam de ser atualizados mais frequentemente.

4. Estratégia de implementação BIM na NLA

Este processo não foi linear e foi sendo adaptado às necessidades do atelier, à sua disponibilidade e, claro, à realidade do mercado de trabalho. A estratégia, começou com o recrutamento de novos elementos com experiência BIM e na restruturação das equipas. As várias equipas de projeto são constituídas por: **Chefe de projeto** – arquitecto chefe que gere todas as questões de projeto e processuais; **BIM *coordinator*** – arquitecto com conhecimentos avançados de BIM que gere a informação BIM e coordena as tarefas da equipa de modeladores, revê o trabalho BIM, garante a compatibilização entre as várias disciplinas e dá apoio directo aos BIM *modellers*; **BIM *modellers*:** arquitectos modeladores BIM.

Na hierarquia BIM foi também introduzido o cargo de **BIM *Manager***, responsável por: estar a par das inovações tecnológicas; criar e implementar *standards*; criar bibliotecas, templates, documentação e automatismos; formar as equipas e dar apoio aos vários projetos; implementar os procedimentos adequados para um trabalho com mais qualidade; garantir o cumprimento dos objectivos BIM da empresa.

A par da estruturação das equipas desenvolveu-se toda a documentação BIM oficial e auxiliar, bem como manuais de procedimentos internos. Investimos na formação das equipas e na aquisição de melhores equipamentos. Parte deste processo são as parcerias estratégicas com equipas de especialidades que desenvolvem o seu trabalho em BIM.

5. Processo BIM na NLA

Todos os projetos na NLA atravessam um processo restrito que passa pela definição estratégica com o cliente, pela preparação e criação das condições necessárias para o trabalho das esquipas ser desenvolvido de forma eficiente. Sendo, assim, possível concluir o trabalho, apresentando um pacote com informação clara e objetiva para a obra.

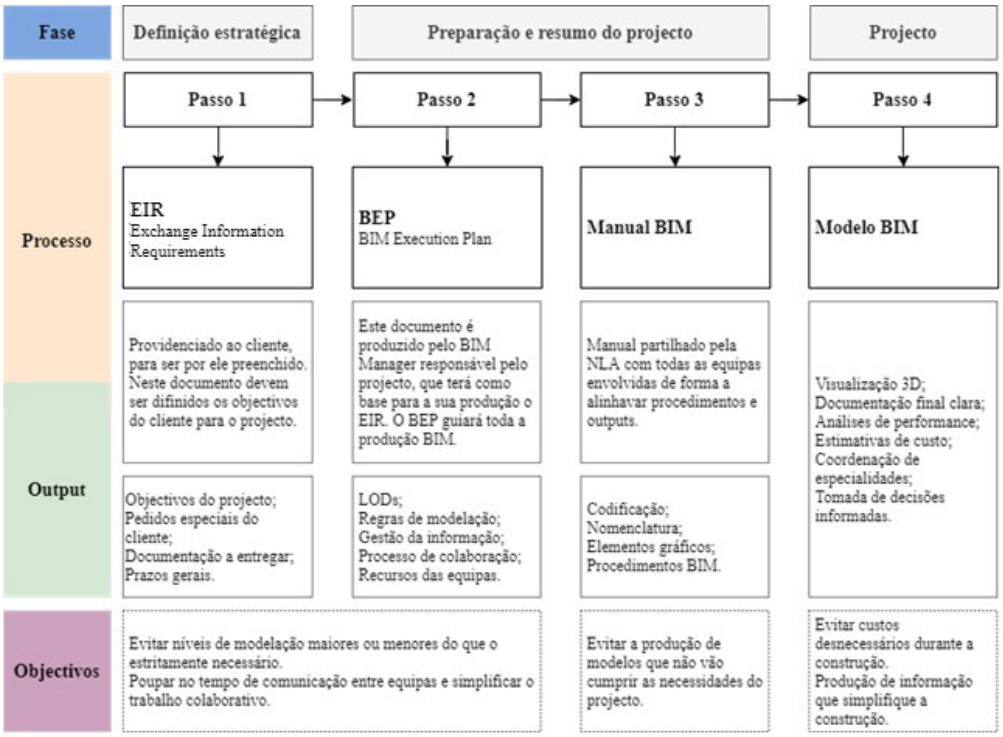


Figura 1
Diagrama – Processo BIM na NLA.

6. Implementação na NLA

A implementação prática do BIM na NLA centra-se em grande parte nas regras de trabalho, normas e procedimentos *standard*, que devem ser cumpridos por todos os elementos das várias equipas em todos os projetos.

6.1. Software

A NLA tem diferentes *softwares* para diferentes utilidades: criação de modelos, revisão, coordenação, estimativa de custo e revisão de desenhos.

6.2. Manual BIM da NLA

"BIM *Standards and Procedures* – NLA"

É o manual interno, com cerca de 150 páginas, que dita todas as metodologias relacionadas com BIM e com a produção de projeto, desde a codificação de documentos, objetos, elementos da construção, regras de modelação, produção de *outputs*, guia para o trabalho colaborativo e dicas de produtividade.

6.3. Outra documentação BIM

Embora o objectivo da NLA seja concentrar toda a informação de projeto no modelo e reduzir ao máximo a utilização de *softwares* não BIM, existe sempre a necessidade

de criação de certa documentação oficial e de documentação auxiliar para permitir uma clara organização do projeto e do processo de trabalho, garantindo a eficiência das esquipas envolvidas.

6.3.1. Oficial

– **EIR** (*EXCHANGE INFORMATION REQUIREMENTS*)
– ESTE DOCUMENTO É PROVIDENCIADO PARA O CLIENTE DEFINIR OS OBJETIVOS DO PROJETO BIM, REGRAS, NECESSIDADES ESPECIFICAS DO PROJETO, ELEMENTOS DE ENTREGA, ETC.
– **BEP** (*BIM EXECUTION PLAN*)
DOCUMENTO PRODUZIDO PELA NLA USANDO COMO BASE O EIR E AS NORMAS DA NLA, SERVE DE BASE AO TRABALHO BIM DESENVOLVIDO POR TODAS AS EQUIPAS ENVOLVIDAS.

6.3.2. Auxiliar – Templates

– **ESTRUTURA DE MODELOS**: DIAGRAMA QUE ESTRUTURA OS MODELOS NECESSÁRIOS, A INFORMAÇÃO QUE DEVE FAZER PARTE DE CADA UM DOS MODELOS E A SUA "LINKAGEM".
– **LISTAS DE TAREFAS**: A NLA TEM PREPARADA UMA SÉRIE DE TEMPLATES COM LISTAS DE TAREFAS E REQUISITOS DEDICADOS ÀS DIFERENTES FASES DO PROJETO.
– **PLANEAMENTO DE TAREFAS**: NO INÍCIO DE CADA FASE DE PROJETO É FEITO UM PLANEAMENTO GERAL DO TRABALHO.
– **RELATÓRIO TIPO**: UTILIZADO ESSENCIALMENTE PARA AUDITORIAS A MODELOS INTERNOS E EXTERNOS.
– **GUIA DE MEDIÇÕES**: DOCUMENTO ADAPTADO A CADA PROJETO COM UMA LISTA DOS ELEMENTOS QUE DEVEM SER MEDIDOS, ATRAVÉS DE QUE CÓDIGOS, UNIDADES, ETC.

6.4. Template NLA

O template de Revit da NLA é muito completo e exaustivo, e está preparado para acompanhar o projeto desde o início da sua conceção até á sua execução. No fundo é uma base de dados, preparada para receber a cada fase do projeto mais informação, sem nunca se desperdiçar o que foi feito até à data. As "camadas" de informação vão sendo adicionadas, mas a base é sempre a mesma. O template está personalizado com uma série de *shared parameters* específicos e de acordo com as necessidades da NLA. Inclui, todos os *sheets* com os *outputs* necessários para as várias fases do projeto, *schedules* já formatadas para a extração de quantidades, áreas e especificações.

6.5. Comunicação e partilha de informação

A produtividade tem em grande parte que ver com a organização e com a comunicação, para isso é preciso garantir reuniões frequentes e tão expeditas quanto possível. É importante convocar apenas quem é essencial para tratar os assuntos de forma objetiva, garantindo sempre a presença de um especialista BIM por equipa. Reuniões desta natureza com demasiados elementos, acabam por se revelar pouco ou nada produtivas.

De forma a garantirmos uma equipa produtiva é essencial a distribuição de tarefas ser clara. Cada elemento tem que ter presente quais são exatamente as suas funções e objetivos, inclusive o tempo que dispõe para as executar, caso contrário os prazos e cumprimento de tarefas da equipa não serão alcançados. O BIM *coordinator* deve reunir diariamente com a equipa para distribuir tarefas e estar a par do desenvolvimento de trabalho. A comunicação entre o chefe de projeto e BIM *coordinator* deve ser pelo menos semanal, para discutirem questões de projeto. Por sua vez, o BIM *manager* está sempre em contacto com os BIM *coordinators* para a resolução de questões BIM.

6.5.1. Partilha de informação

É essencial garantir que toda a informação necessária e atualizada chega a todos os envolvidos no processo, por isso, a NLA subscreve serviços de várias plataformas, de forma a maximizar e facilitar a partilha de informação e a comunicação entre as equipas. A partilha de modelos com equipas externas através da *cloud*, tem uma estratégia de trabalho, as submissões devem ser regulares, estipuladas no BEP e cumpridas por todas as equipas.

O principal sistema de comunicação de assuntos relativos ao modelo baseia-se nos BCFs (BIM *Colaboration Format*). As correcções necessárias aos modelos das especialidades são emitidas para as equipas externas através de BCFs na *cloud*, o que permite uma comunicação praticamente em tempo real. Internamente, os BCFs também são utilizados para o registo de correcções necessárias aos modelos da NLA.

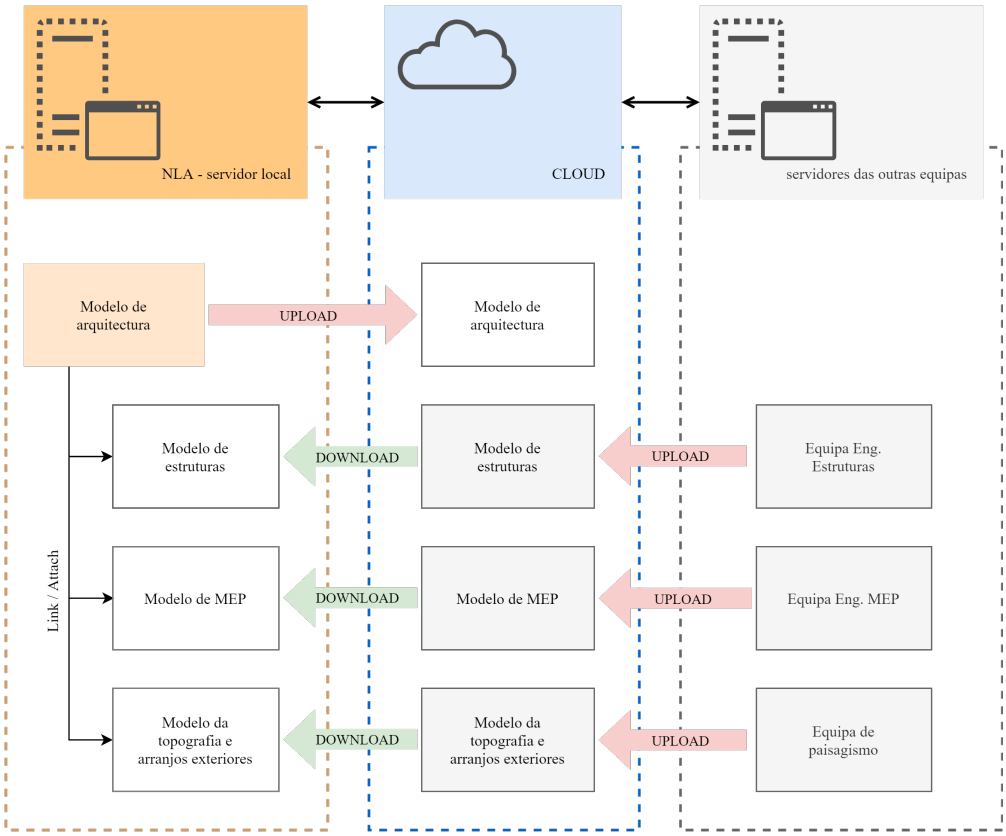


Figura 2
Diagrama – BIM *Workflow* – NLA.

6.6. Mecanismos de produtividade

6.6.1. Biblioteca

A NLA tem uma biblioteca disponível no seu servidor, organizada por *showcases* ("mostruários") de diferentes temas, por exemplo: equipamentos de cozinha, de casa de banho, elementos de construção, etc. Estas famílias foram todas modeladas pela NLA e preparadas com *shared parameters* que preenchem as *schedules* já lançadas no nosso template. No manual de normas da NLA existe, um guia para a utilização de determinadas famílias, cuja utilização e preenchimento é mais complexo.

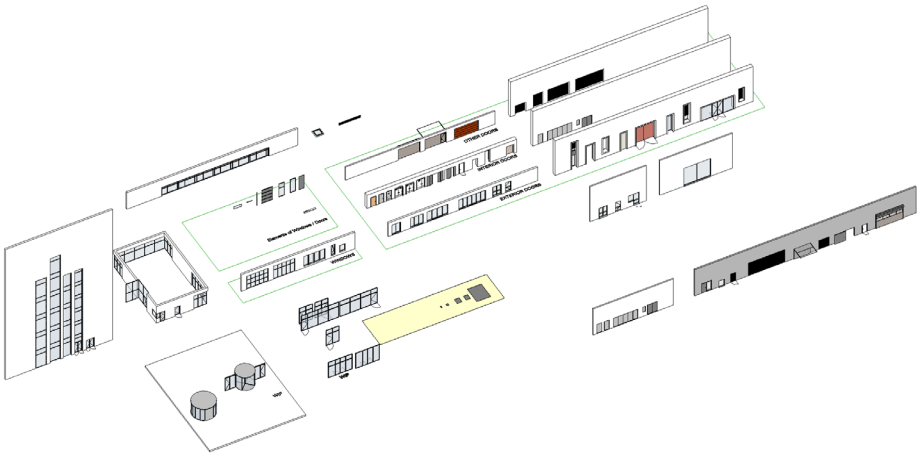


Figura 3
Exemplo de mostruário de famílias da NLA.

6.6.2. Programação visual

De forma a automatizar alguns mecanismos, melhorar a produtividade e solucionar alguns problemas, temos recorrido cada vez com mais frequência à programação visual. Temos vários *scripts* em desenvolvimento que tentam ir de encontro às necessidades das esquipas no trabalho diário e outros já finalizados e devidamente implementados. Todos estes *scripts* envolvem a edição da base de dados dos modelos com parâmetros personalizados e específicos para os *scripts*. Dependendo da complexidade do *script* existem guias processoais.

Temos *scripts* implementados para: gerar as áreas necessárias para as estimativas orçamentais das escadas; calcular a largura e comprimento dos compartimentos; fazer o *Tag* das áreas brutas medidas nos *area plan* directamente nos *floorplan*; criar *floors* através de *room boundaries*; exportar em excel várias *schedules*; eliminar vários elementos em simultâneo através dos *Ids*; desactivar os modelos analíticos.

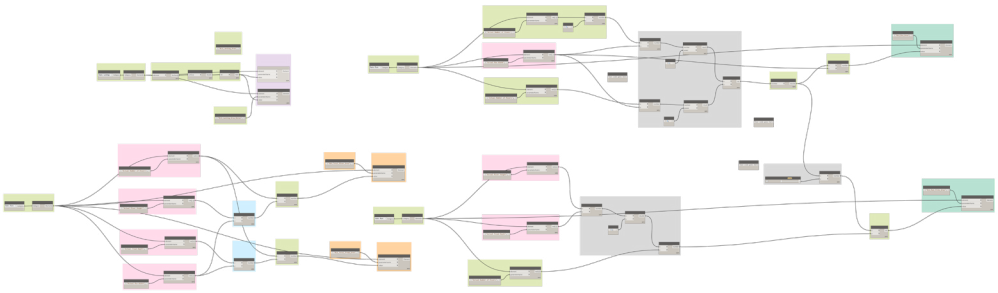


Figura 4
Exemplo de *script* desenvolvido pela NLA.

6.7. Compatibilização dos modelos BIM

6.7.1. Regras para a receção e partilha de modelos

Para operacionalizar a partilha de modelos a NLA estabeleceu uma série de premissas transversais a todas as equipas envolvidas, nomeadamente:

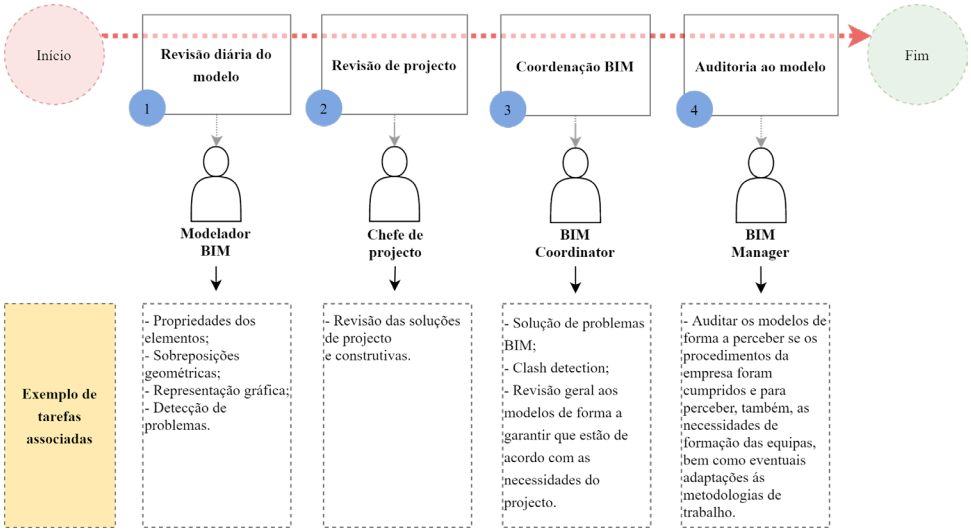


Figura 5
Diagrama – Coordenação e revisão dos modelos – NLA.

– Ficheiros georeferenciados (coordenadas e sistema de coordenadas);
– Ficheiros em *detach* e não centrais;
– Ficheiros purgados e sem elementos desnecessários;
– Pacote de desenhos com plantas, cortes e alçados prontos a imprimir;
– Sem vistas auxiliares e desnecessárias;
– Todos os elementos devem estar claramente identificados, codificados e na categoria correcta;
– Todos os elementos têm que ser mediveis para orçamentação.

6.7.2. Coordenação e revisão

A coordenação e revisão do trabalho tem várias fases e intervenientes com diferentes funções, no entanto, é responsabilidade de toda a equipa garantir que todo o trabalho é bem executado.

7. Notas finais

A NLA continuará a investir no BIM, focada em dois grandes objectivos: qualidade e produtividade. Para uma melhor produtivadade continuamos diariamente a ajustar procedimentos e a criar metodologias que tornem o trabalho mais claro e mais rápido, dando tempo às equipas para pensarem em projeto, pensarem em arquitectura. Faz parte dos nossos objectivos a criação de uma biblíoteca de pormenores que sirva como base de dados para todos os projetos. No sentido de melhorar a qualidade do nosso trabalho, a NLA está em processo de estudo e aproximação à ISO-19650, norma BIM, com o objectivo de melhorar procedimentos e *outputs*.

Referências

[1] EN ISO 19650, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling, 2018

[2] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N.J.: Wiley, 2018.

[3] Fabio Roberti, Decio Ferreira, Increasing Autodesk Revit Productivity for BIM Projects: A practical guide to using Revit workflows to improve productivity and efficiency in BIM projects. Paperback, 2021.

BIM e arquitetura: da aprendizagem à prática

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.3

Carolina Rua[1], **Francisco Teixeira Bastos**[2], **António Aguiar Costa**[3,4]

[1] *Instituto Superior Técnico, Lisboa*

[2] *CITUA, Centro de Inovação para o Território, Urbanismo e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Lisboa*

[3] *CERIS, Investigação em engenharia Civil, Inovação para a Sustentabilidade, Instituto Superior Técnico, Lisboa*

[4] *BUILT CoLAB – Laboratório Colaborativo para o Ambiente Construído do Futuro, Porto*

Resumo

A crescente mudança tecnológica operada no setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), tem possibilitado a implementação de novas abordagens de trabalho. Os tempos demorados de elaboração e construção de um projeto segundo os métodos tradicionais e o aumento da complexidade e do crescimento de especialidades envolvidas nos projetos, impõem uma necessidade de comunicação e coordenação entre intervenientes, para evitar erros e omissões. Contudo, a falta de profissionais habilitados para fazer face às mudanças do setor ainda é uma questão proeminente. Acresce que a formação BIM existente ainda é escassa, sobretudo no meio académico, sendo que poucas universidades incluem o ensino BIM em unidades curriculares, principalmente ao nível da formação em arquitetura. Desta forma, é objetivo deste trabalho realizar uma análise das ofertas de formação académica BIM existentes, para entender o perfil do atual Arquiteto recém-licenciado e a sua relação com as necessidades que surgem das recentes mudanças operadas no setor AEC.

1. Introdução

Este trabalho é parte integrante da investigação da tese de Mestrado "BIM e Arquitetura: da aprendizagem à prática", que consistiu num levantamento bibliográfico sobre a implementação BIM, na indústria e na educação, e num inquérito a recém-licenciados em Arquitetura com o objetivo de entender o perfil do atual Arquiteto recém-licenciado na relação com as necessidades que surgem das recentes mudanças operadas no setor Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC).

O uso da tecnologia BIM surge como uma mudança de paradigma para o setor da construção e para todos os engenheiros e arquitetos que contribuem para este setor, uma vez que permite uma comunicação completa e precisa de um projeto para ser construído, através de modelos tridimensionais que contém informação fundamental, sem a necessidades de desenhos detalhados. [1] Contudo, os avanços tecnológicos e as novas formas de aprendizagem nem sempre são contemplados e revistos nos currículos dos Mestrados de Arquitetura e Engenharia, onde as mudanças de paradigma afetadas pelo aparecimento de novas tecnologias são mais eminentes [2]. O ensino do BIM nas universidades nacionais ainda não prepara os alunos de forma consistente para a utilização da tecnologia no contexto profissional. Internacionalmente, apesar de já existirem váriasinstituições do ensino superior a lecionar disciplinas sobre as ferramentas BIM desde 2003, muitos dos países ainda utilizam as ferramentas tradicionais para elaborar projetos e apresentações. [3]

1.1. Objetivo

O presente artigo procura avaliar e validar a oferta de formação nacional na tecnologia BIM, a nível universitário, de modo a entender as principais vantagens da sua implementação e quais devem ser as mudanças no contexto da Arquitetura, para que esta implementação seja possível.

1.2. Metodologia

O levantamento das ações de formação existentes foi elaborado sobretudo através da recolha de informação nas instituições de ensino superior (IES) de Arquitetura e Engenharia nacionais. Para além disso, a recolha procedeu-se através de um inquérito, tendo como amostra a população dos recém licenciados em Arquitetura.

A análise deste inquérito permitiu tirar ilações relativamente à formação e conhecimentos BIM dos arquitetos, bem como entender o estado de implementação da tecnologia nas empresas referenciadas nos inquéritos e enunciar uma extrapolação para um quadro nacional alargado.

As questões centrais levantadas no trabalho desenvolvido, pretendem entender o nível de implementação da tecnologia BIM no plano internacional e extrapolar para o contexto nacional, percebendo se esse nível existente pode ser enriquecido, através

de uma mudança na aprendizagem da tecnologia e na formação ou através de uma melhoria na oferta formativa.

2. Enquadramento

A implementação do BIM requer mais do que uma mudança tecnológica, uma mudança cultural e organizacional da forma de operar e da formação qualificada dos seus profissionais. Muitas destas questões podem ser solucionadas quando as universidades começarem a incorporar o BIM nos seus currículos. [4] De forma a entender o estado de implementação da tecnologia a nível nacional, é frequente assumir como referência os países mais desenvolvidos, no setor da construção e da implementação BIM a nível internacional.

Na Europa, o Reino Unido lidera as iniciativas relacionadas com o BIM, representando um ponto de referência para o uso da tecnologia como metodologia de trabalho [5]. No entanto, os países escandinavos foram também pioneiros na adoção e implementação da abordagem BIM, sobretudo a Noruega, Dinamarca e Finlândia. Tal facto aconteceu de forma rápida, devido à adoção de padrões de requisitos, os quais, desde então, se têm continuando a desenvolver-se até à atualidade [6].

Por seu turno, nos Estados Unidos tem existido uma adoção crescente da tecnologia nos últimos anos, esperando-se que esse crescimento continue a existir no futuro [7]. A GSA (US General Service Administration) foi pioneira na introdução do BIM em obras públicas, formulando as primeiras bases nacionais do programa BIM em 2003, que definiam as principais políticas a adotar para todos os projetos público.

Segundo Singh (2017), nos países asiáticos como Singapura, China, Coreia do Norte, Japão, Índia e Malásia já é corrente a elaboração de projetos desenvolvidos em BIM, apesar de a adoção da tecnologia no continente asiático ser mais lenta, comparada com outros países europeus.

A utilização da tecnologia permite que qualquer entidade envolvida no processo de construção represente virtualmente as informações necessárias para as etapas de projeto, construção e operação, desde a fase de conceção do projeto até à fase de manutenção da construção. Todas estas informações ficam contidas num único modelo tridimensional, o que permite uma eficaz partilha de informação entre os diversos agentes inseridos no trabalho, permitindo ainda atenuar o aparecimento de erros, tanto em projeto como em fase de obra.

O problema inerente à ausência da adoção da tecnologia BIM prende-se com o facto de muitos gabinetes e empresas ainda utilizarem a metodologia tradicional para a conceção dos seus projetos, associado à manutenção da formação de índole tradicional, não tecnológica, que a maior parte dos alunos de Arquitetura e Engenharia ainda recebem. [8]

A incorporação do conhecimento digital é fundamental para a utilização de softwares BIM. Para tal, é necessário desenvolver competências que permitam a utilização da tecnologia nos mais diversos softwares. A falta de consenso entre quais as competências que devem ser desenvolvidas é ainda bastante evidente, segundo Barison e Santos. Com o intuito de melhorar o processo de gestão de informação, o BIM é proposto para facilitar um método integrado de fluxo de informação, através do uso colaborativo de modelos digitais 3D, contendo dados extremamente reais de todas as fases do projeto de vida da construção. [9]

2.1. A implementação BIM a nível nacional

"Portugal é um dos países onde a implementação do BIM, quer na indústria, quer no meio académico, se encontra numa fase ainda preliminar. A tradição do país no ensino da Arquitetura, os escassos apoios financeiros e governamentais e a cultura de trabalho do arquiteto são razões frequentemente apontadas como estando na origem deste desfasamento." [10]

Apesar disso, têm sido desenvolvidas várias iniciativas que refletem uma intenção clara de promoção do conhecimento da tecnologia BIM e vontade de aprofundar e dinamizar esta abordagem junto dos profissionais, sendo um dos exemplos a criação da Comissão Técnica CT197 BIM, que atua no panorama nacional, refletindo o trabalho da Comissão Técnica de Normalização BIM Europeia CEN/TC442 que se foca sobretudo na normalização do setor, com base nas normas existentes a nível europeu, segundo Pontes [11]. Apesar da tecnologia BIM oferecer um largo espectro de vantagens e melhorias face aos métodos utilizados, a transição das empresas para a introdução desta tecnologia é um processo longo e que não ocorre de forma imediata, tendo sempre riscos e dificuldades associadas.

3. Metodologia

Numa fase inicial foi realizado um levantamento e revisão da literatura existente sobre a temática BIM. Complementou-se a investigação com uma análise exploratória de casos nacionais e internacionais, focando-se sobretudo na análise de formações universitárias existentes e empresas BIM. Posteriormente foi criado um inquérito online, direcionado a uma população de recém-licenciados em arquitetura, com o intuito de avaliar não só a pertinência do ensino da tecnologia nas universidades, bem como compreender a sua aplicação no futuro da profissão, após ingressar no mercado de trabalho. Este inquérito foi inicialmente desenvolvido, segundo um guião de inquérito, contendo os principais objetivos do mesmo, os temas a abordar e uma definição inicial das questões a realizar. Com base neste guião, foi conduzido um teste preliminar com um universo de 10 inquiridos, de forma a entender a pertinência de cada questão, bem como a clareza e formalização das mesmas. O inquérito revisto foi então enviado, via correio eletrónico, para os gabinetes de comunicação das IES de arquitetura nacionais, pedindo que este fosse divulgado para os ex-alunos da instituição. Uma vez que as respostas das instituições de ensino foram escassas,

optou-se também por realizar uma divulgação online, em páginas relacionadas com a Arquitetura em Portugal, com o intuito de divulgar o inquérito e obter um maior número de respostas ao mesmo.

Após terminar o período de aceitação de respostas ao inquérito, foi realizada a recolha dos dados obtidos, através da plataforma online *GoogleDocs*, que gera uma folha Excel, com todos os dados devidamente agrupados. Esses dados foram então analisados e cruzados entre si.

Por fim, foram analisados e criticados os resultados obtidos no inquérito e realizada uma análise comparativa entre os mesmos resultados e as conclusões retiradas ao longo do desenvolvimento do trabalho de revisão bibliográfica.

3.1. Análise Contexto Profissional

De forma a entender que empresas nacionais já trabalham com o BIM, quais os projetos que desenvolvem e de que maneira respondem aos avanços da tecnologia ao longo dos anos, analisaram-se algumas empresas na área da Construção, Projetistas e Consultoria. Essa análise pode ser vista e comparada nas imagens 1 e 2 em anexo.

Foi possível inferir-se que existem já algumas empresas a entrar nesta mudança de paradigma, com um crescimento cada vez mais relevante na indústria e procurando cada vez mais adeptos na utilização do BIM. Não obstante, a falta de profissionais qualificados e os custos inerentes à implementação da tecnologia ainda deixam muitas empresas em dúvida se devem proceder à mudança.

3.2. Análise Contexto Ensino

A profundidade do ensino BIM nas IES pode descrever-se através do grau de desenvolvimento e complexidade dos conteúdos lecionados num currículo universitário. Apesar das diversas iniciativas para adicionar o ensino do BIM nos currículos académicos, falta atualmente uma abordagem teórica, para transformar a prática da integração BIM para uma orientação total em BIM. [12] [13]

No que diz respeito à aprendizagem de ferramentas BIM, a abordagem de ensino deve fomentar a prática e a aprendizagem ativa, i.e., a possibilidade dos alunos aprenderem através da experimentação. Este deve ser um método a adotar, evitando as aulas em formato de palestra, onde o ensino é feito através de leituras e explicações teóricas, não permitindo aos alunos ter noção do funcionamento das ferramentas. [14], pois a lacuna entre os resultados educacionais e as necessidades da indústria é uma questão problemática. Segundo Chen *et al.,* (2020) [15], esse é o principal desafio das instituições de ensino, uma vez que os profissionais do setor AEC argumentam que, frequentemente, os recém-licenciados não possuem a prática suficiente para fazer face às necessidades da indústria.

No sentido de mapear a oferta existente foi realizado um levantamento das formações existentes, a nível académico, no que diz respeito à aprendizagem da tecnologia, nos cursos de Arquitetura e Engenharia. Esse levantamento pode ser visto nas imagens 3,4 e 5 em anexo.

Este levantamento permitiu perceber que nas unidades curriculares referentes ao curso de Engenharia, o conteúdo que é abordado descreve aspetos relacionados com a aprendizagem de modelação e softwares, mas também conceitos teóricos como sistemas de classificação de informação, LOD, normas e dimensões. No caso do curso de Arquitetura, esses conceitos não se encontram devidamente explicitados em nenhum dos planos curriculares das disciplinas existentes.

Desta forma é possível aferir que a oferta formativa, em contexto académico, em Portugal, é ainda bastante reduzida, sendo muitas vezes uma opção por parte do aluno e não uma unidade curricular de carácter obrigatório. A maioria nas universidades integra apenas disciplinas introdutórias, promovendo a exploração das áreas mais acessíveis, como as da modelação paramétrica, a criação de objetos e famílias e a gestão de informação do modelo, promovendo uma prática de ensino de intra-disciplinaridade. [16]

4. Análise resultados do Inquérito

O principal objetivo da elaboração do inquérito passa por entender a formação BIM existente a nível superior para os futuros arquitetos, bem como a pertinência da introdução do seu ensino no currículo dos cursos de Arquitetura nacionais.

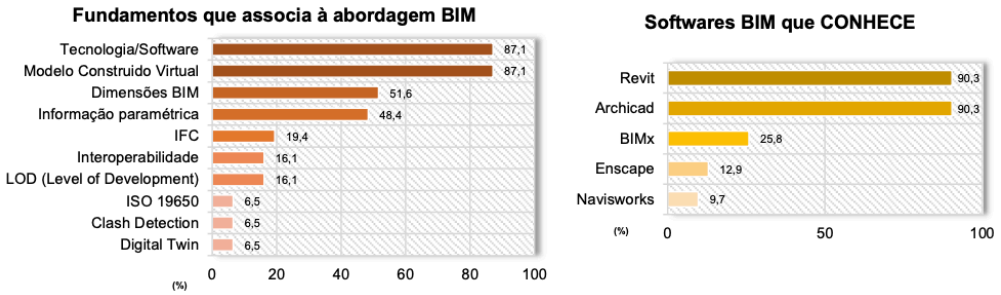
Após a elaboração do guião do inquérito, que definiu os principais temas aos quais se queriam obter resultados, foi elaborado o inquérito final, seguindo as premissas deste guião. As seções definidas passaram pela caracterização do inquirido, os conhecimentos e formação BIM, a atividade profissional atual, o acesso ao mercado de trabalho e a importância da tecnologia no futuro da Arquitetura em Portugal. O inquérito não conseguiu alcançar um universo muito alargado de alunos de arquitetura, tem sido obtidas um total de 36 respostas.

Relativamente à secção de **caracterização dos Inquiridos**, é possível entender que a maioria dos respondentes tem idades compreendidas entre os 27 e os 29 anos (38,9%), seguindo-se de inquiridos com idades compreendidas entre os 24 e os 26 anos (36,1%), tal como é possível observar no gráfico 1. Para além disso, todos os inquiridos responderam ter formação de base em Arquitetura, que corresponde a um Mestrado com duração de 5 anos. Comparando estas informações com o gráfico 2, relativo ao ano de conclusão do curso, a maioria dos inquiridos terminou o curso em 2019 (19,4%), 2018 (19,4%), 2020(16,7%) ou 2017 (16,7%), o que demonstra que, a maioria dos inquiridos não cumpriu os 5 anos de Mestrado de forma linear.

Gráfico 1
Comparação entre idades dos inquiridos e ano de conclusão do curso.

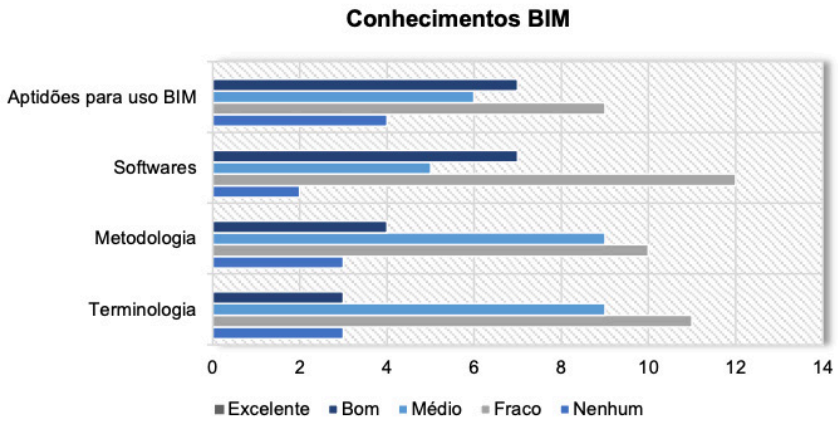
No que diz respeitos aos conhecimentos BIM dos inquiridos, os fundamentos mais associados à abordagem BIM foram "Tecnologia/Software" (87,1%) e "Modelos Construídos Virtuais" (87,1%), seguindo-se de "Dimensões BIM" (51,6%) e "Informação Paramétrica" (48,4%). No entanto, apesar do conhecimento relativo a estes softwares, metade dos respondentes não aprendeu nenhum dos softwares acima citados nem os utilizou, durante o seu percurso académico.

Gráfico 2
Comparação entre fundamentos BIM que associa à tecnologia e os *softwares* que conhece.



Já no campo da avaliação de conhecimentos, a grande maioria coloca-se no patamar de conhecimento fraco em todos os pontos avaliados: terminologia (30%), metodologia (28%), softwares (33%) e uso BIM (8%). No entanto, foi ainda possível aferir que existe uma percentagem relativamente preponderante de inquiridos que responde ter bons conhecimentos relativos a softwares e aptidão para uso BIM. Isto pode acontecer uma vez que a maioria das unidades curriculares existentes, relacionadas com a tecnologia, focam-se sobretudo no ensino de ferramentas e softwares BIM.

Gráfico 3
Conhecimentos BIM.



Relativamente à formação BIM fora do contexto académico, a maioria dos inquiridos nunca participou em formações sobre BIM (65%), pelo que são poucos os inquiridos que desenvolvem a sua atividade profissional através do uso da abordagem BIM.

Em relação à função que desempenham na empresa, a maioria dos inquiridos respondeu ter a função de Arquiteto, sendo que não existiu nenhum inquirido com a função de BIM Manager, a responder a este inquérito.

Quando questionados relativamente ao uso da metodologia BIM na empresa, a maioria dos inquiridos respondeu não lidar com a metodologia BIM no seio da empresa (...) o que pode levar a concluir que a maioria das empresas onde os inquiridos exercem funções, não estão adaptadas à metodologia e usos BIM, ou ainda não transitaram para o uso total da metodologia BIM.

Gráfico 4
Comparação entre a utilização da metodologia BIM na atividade atual e os instrumentos metodológicos que conhecia, na entrada para a empresa.

Relativamente ao acesso ao mercado e trabalho, a percentagem de inquiridos que domina a abordagem BIM e que exerce funções relacionadas com a mesma, é bastante reduzida. Pode inferir-se que, por este motivo, existem ainda inquiridos que não sentiram qualquer mudança face às oportunidades profissionais surgidas, uma vez que apesar de conhecerem os conceitos relacionados com a abordagem BIM, ainda não exercem funções relacionadas com o uso dessa tecnologia.

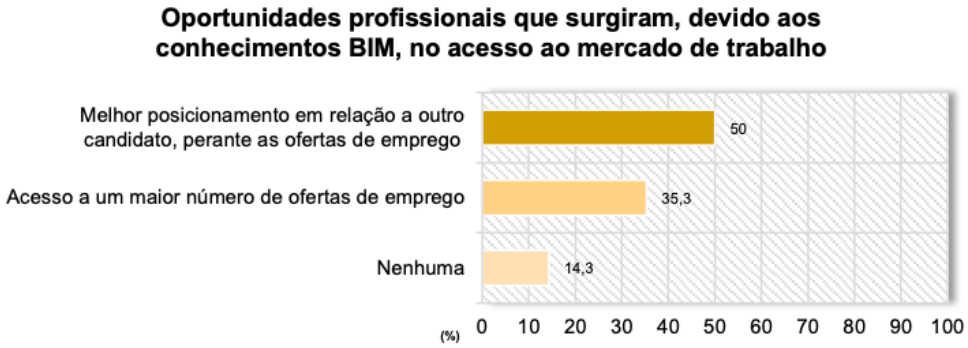
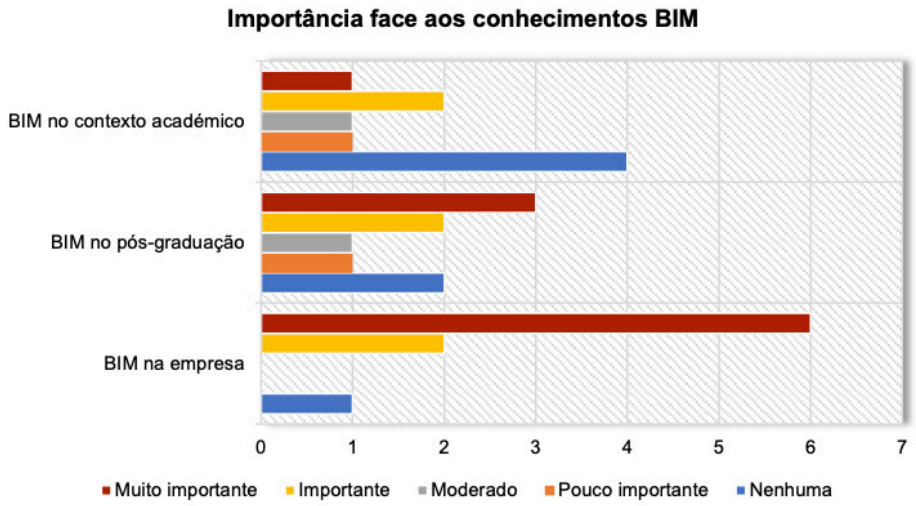


Gráfico 5
Oportunidades profissionais devido a conhecimentos BIM.

No que diz respeito aos conhecimentos adquiridos em contexto académico, a grande maioria dos inquiridos afirma que esses conhecimentos são de importância nula, Já no contexto de pós-graduação, a maioria dos inquiridos afirma que os conhecimentos adquiridos são importantes ou muito importantes, bem como no caso dos conhecimentos adquiridos no seio da empresa. É possível aferir que existem ainda poucas unidades curriculares relacionadas com a aprendizagem da abordagem BIM,

nas instituições de ensino, sendo que as que existem, não vão de encontro às funções reais nas empresas do setor AEC. Por este motivo, os conteúdos lecionados nessas unidades curriculares são classificados como tendo pouca importância para o exercício de funções segundo a abordagem BIM.

Gráfico 6
Importância face a conhecimentos BIM.



Outra conclusão inferida da análise destas respostas é de que, de facto, os inquiridos entendem a importância da formação BIM, valorizando os conhecimentos que adquirem no seio da empresa em prol dos conhecimentos em contexto académico. Desta forma é possível questionar como deveria ser inserida a formação BIM nas universidades, de forma a equilibrar estas percentagens e permitir dotar os alunos de conhecimentos prévios sobre a tecnologia, mesmo antes da entrada no meio profissional.

Quando questionados sobre a importância do BIM no futuro da Arquitetura, a maioria dos inquiridos responde ser um assunto de grande importância. No que diz respeito ao ensino da tecnologia BIM nas universidades, a maioria dos inquiridos defende que o ensino académico deve informar e enquadrar de forma profunda sobre a metodologia BIM, desenvolvendo também a sua aplicação prática.

5. Conclusão

Após a análise crítica dos resultados do inquérito, bem como através do desenvolvimento de toda a pesquisa anterior, foi possível tornar evidente que a tecnologia BIM ainda não é do conhecimento geral para todos os arquitetos e que o ensino da tecnologia nas universidades ainda está aquém da mudança operada nas principais instituições de ensino internacionais. Para além disso, as unidades curriculares relacionadas com a aprendizagem da tecnologia, existentes nas instituições de ensino em Portugal, apenas se focam na introdução de aspetos relacionados com modelação e prática em softwares BIM.

Foi ainda possível concluir que, em Portugal, são poucas as empresas com uma metodologia BIM implementada. Na amostra recolhida, a maior parte das empresas que

foram inquiridas ainda não desenvolvem trabalhos exclusivamente realizados em softwares BIM, com uma metodologia bem definida e em que os seus trabalhadores conheçam de forma profunda a tecnologia. Igualmente se revelou que são poucos os profissionais que sentiram necessidade de ingressar em formações pós-mestrado, relativamente à abordagem BIM.

Comparativamente com a pesquisa bibliográfica, é possível aferir que o estado de implementação da tecnologia, nas empresas, ainda é reduzido, face ao panorama internacional. No caso de Portugal, ainda se está numa fase embrionária da implementação de políticas de normalização e de uso BIM, o que já acontece em alguns países europeus. Este facto pode ser um dos motivos para a falta de dinamização relativamente ao uso da tecnologia em projetos públicos e privados.

6. Considerações finais

Concluiu-se que para uma mudança formativa ao nível das instituições de ensino superior em Portugal, seria sobretudo necessário focar na criação de uma (ou várias) disciplina(s), com conteúdos BIM, que permitissem aos alunos uma perceção inicial sobre a tecnologia e os seus usos. Desta forma, os conhecimentos adquiridos poderiam ser suficientes para despoletar interesse por aprender mais sobre BIM e desenvolver projetos futuros baseados nesta metodologia de trabalho. Seria ainda necessário investir na formação de docentes capazes de desenvolver o ensino da tecnologia no seio académico.

Para operar uma mudança no setor da construção nacional, seria necessário desenvolver políticas de uso BIM, em consonância com o esforço da CT197-BIM, sobretudo no desenvolvimento de projetos e obras públicas, de forma a incentivar as empresas para uma mudança no método de trabalho e na metodologia. Também seria essencial permitir que os projetos entregues nas Câmaras Municipais possam ser desenvolvidos segundo a abordagem BIM.

Apesar da aposta pela inserção de unidades curriculares BIM nas universidades, a formação externa também deve servir de complemento a conteúdos específicos da tecnologia, cabendo a cada aluno entender os conceitos e ferramentas que pretende desenvolver de forma mais aprofundada. Para isso acontecer, os conhecimentos base de um recém-licenciado em Arquitetura deveriam passar por conteúdos aprendidos em contexto académico, numa unidade curricular focada sobretudo na aprendizagem da metodologia e de conceitos BIM, conteúdos estes que deveriam fazer face às principais necessidades da indústria da construção.

Demonstra-se por fim a existência de uma discrepância entre o perfil atual do recém Arquiteto e a forma como este se adapta ao mercado de trabalho, em relação com as necessidades da indústria.

É evidente um crescimento gradual da implementação da tecnologia como metodologia de trabalho no setor AEC, tendo vindo a aumentar a procura de profissionais que possam fazer face às questões relativas aos projetos, desenvolvidos em

ambiente BIM. Em contraponto, a formação universitária relativa à tecnologia ainda necessita de ser amplamente implementada e aprimorada. Conclui-se ser urgente a introdução de unidades curriculares obrigatórias sobre usos BIM, conceitos teóricos, para além da aprendizagem de conceitos de modelação e softwares, nos Mestrados Integrado sem Arquitectura para criar recém-licenciados capacitados para integrar o mercado de trabalho com conhecimentos BIM adequados às suas necessidades.

Referências

[1] SACKS, R., BARAK, R., (2010) "Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education", Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, 136, issue 1/ Janeiro, 2010.

[2] BARISON, M. B. ,SANTOS, E. T., (2010), "Review and analysis of current strategies for planning a BIM curriculum", *27th International Conference*, Egypt, 2010.

[3] BARISON, M. B., SANTOS, E.T., (2011_A) "The Competencies of BIM Specialists: a Comparative Analysis of the Literature Review and Jobs Ad Descriptions", 2011 ASCE Internacional Workshop of Computing in Civil Engineering, Florida, 2011, pp. 594-602.

[4] KHEMLANI,L. (2007) "Top Criteria for BIM Solutions", *AECbytes Survey Results*.

[5] SINGH, I. (2017), BIM adoption and implementation around the world: Initiatives by major nations; consultado em 17 de Março de 2020, https://www.geospatialworld.net/blogs/bim-adoption-around-the- world/.

[6] YOUNG, N.; JONES,S.; BERNSTEIN, H.; GUDGEL, J. (2009) "The Business Value of BIM-Getting Building Information Modeling to the Bottom Line", *SmartMarket Report McGraw Hill Construction*.

[7] BARISON, M. B., SANTOS, E. T., (2011_C), "Atual cenário da implementação BIM no mercado da construção civil na cidade de São Paulo e demanda por especialistas", V Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, Salvador da Baía, 2011.

[8] MIGILINSKAS, D., POPOV, V., JUOCEVICIUS, V., USTINOVICHIUS, L. (2013), "The Benefits, Obstacles and Problems of Pratical BIM Implementation", *Procedia Engineering 57*, pp. 767-774, 2013.

[9] GU, N. ,DE VRIES, B., (2012), "Two Approaches to Implementing BIM in Architectural Curricula", 30th eCCADe Conference, vol.1, Prague, 2012.

[10] PEPE, M., RESENDE, R., Pinto, R. (2018), "O BIM no ensino da Arquitectura em Portugal – O caso do ISCTE-IUL", Livro de atas do 2.º Congresso Português de Building Information Modeling, Lisboa, 2018.

[11] PONTES, J., (2016), "Modelo de Maturidade BIM para a Indústria Nacional", Mestrado, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Lisboa.

[12] BOTON, C.; FORGUES, D. (2018), "Practices and Processes in BIM Projects: An Exploratory Case Study", Advances in Civil Engineering, Vol 2018.

[13] SHELBOURN, M.; MACDONALD, J.; MILLS, J. (2016), *Developing an international framework for BIM education in the HE sector*, in 10th AIC BIM Symposium, 4-5 Abril 2016, Orlando, Florida, USA.

[14] TSAI, M. (2019), "A Peer Review System for BIM Leaning", *Sustainability 2019*, MDPI Journal.

[15] JI,Q.; CHEN, W., (2020) "The Application of BIM Techonolgy in the Cost Management of the Whole Process of Consyruction Projects", IOPscience, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1648.

[16] BASTOS, F.; COSTA, A.(2015), "BIM – Building Information Modelling – O ensino do BIM em Portugal", Construção Magazine, 69 (2015), pp. 28-34.

Conceção de *software* de arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho Open BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.4

Paula Assis[1], **Ricardo Figueira**[1], **Paulo Oliveira**[1], **Carlos Costa**[1]

[1] *Top Informática, Lda., Braga*

Resumo

Muitos são os arquitetos projetistas que concebem a arquitetura através da utilização de ferramentas de software 2D, no entanto, muitos dos projetistas engenheiros utilizam ferramenta s BIM para o projeto de engenharia. Verifica-se, assim, uma incongruência na realização do projeto, uma vez que o engenheiro necessita modelar a arquitetura que servirá de referência para a modelação, cálculo e dimensionamento das especialidades de engenharia, com vista a garantir a integridade e qualidade do projeto. O engenheiro, para além da necessidade de modelar, identifica, muitas vezes, erros de arquitetura que serão corrigidos pelo arquiteto, tornando-se num processo moroso, com o consequente custo que daí advém. Procurando dar resposta a esta situação, foi desenvolvido um software de arquitetura, de utilização gratuita, para integrar fluxos de trabalho Open BIM através de ficheiros IFC, com duas finalidades. Em primeiro lugar permitir ao arquiteto conceber, desde a fase inicial, a arquitetura em BIM a partir da modelação de volumes até à modelação de elementos de pormenor; ou então, em segundo lugar, caso o arquiteto opte por conceber a arquitetura em 2D, permitir-lhe modelar seguidamente em 3D através da biblioteca de elementos arquitetónicos do software que, sendo paramétrica e interativa, oferece uma utilização simples. Neste artigo serão apresentados os resultados do projeto de desenvolvimento do software de arquitetura, bem como a sua implementação num fluxo de trabalho multidisciplinar através da realização de um caso de estudo do projeto de um edifício.

1. Introdução

As aplicações de software CYPE trabalham a partir da modelação BIM, pelo que os engenheiros projetistas necessitam do modelo arquitetónico em BIM para desenvolver as suas especialidades do projeto [1], no entanto, através dos registos internos da plataforma BIMserver.center constata-se que apenas 8.5 % dos ficheiros IFC (Industry Foundation Classes) utilizados são provenientes de softwares de arquitetura, originalmente concebidos pelo arquiteto, tais como o Revit ou o ArchiCAD.

Desta análise identifica-se a necessidade de modelar a arquitetura em BIM, pelo menos os elementos que servirão de base para efetuar as especialidades de engenharia. A CYPE desenvolveu até ao momento duas aplicações com este propósito: o IFC Builder e o CYPECAD MEP. Verifica-se que esta tarefa é habitualmente realizada por um engenheiro e não pelo arquiteto autor do projeto, sendo assim o modelo tem apenas como finalidade colmatar a necessidade dos engenheiros.

Note-se que no desenvolvimento de um projeto os colaboradores são inevitavelmente confrontados com a necessidade de efetuar alterações e o facto do projeto de arquitetura original não se encontrar em BIM aporta consequências do ponto de vista da otimização do tempo e custo. Uma vez que o arquiteto procederá às alterações necessárias, através das suas ferramentas em 2D, o engenheiro terá de modelar novamente em BIM e os responsáveis por cada especialidade efetuarão os respetivos ajustes, repetindo-se o processo tantas vezes quantas as necessárias. Pelo descrito, facilmente se conclui que é imprescindível que a modelação da arquitetura seja originalmente realizada em BIM pelo seu autor ou respetiva equipa.

Da experiência adquirida através das consultas de assistência técnica para apoio à utilização do software CYPE, constata-se que existem três motivos pelos quais os arquitetos continuam a desenvolver os seus projetos de arquitetura através da utilização de ferramentas de software 2D, especialmente quando trabalham individualmente ou dispõem de pequenos gabinetes de projeto, são eles: a não obrigatoriedade de realizar projetos em BIM, a consolidação dos seus processos de trabalho assentes em software 2D e o custo do software BIM.

Atendendo a estes motivos foi criada a aplicação CYPE Architecture, embora não possa responder à questão da obrigatoriedade, acredita-se que poderá vir a responder às restantes questões, uma vez que se trata de um software gratuito, específico para arquitetos, cuja génese está subjacente à metodologia BIM.

Neste trabalho são apresentados os resultados do projeto de desenvolvimento do software CYPE Architecture, nomeadamente as suas funções, bem como um caso de estudo que pretende demonstrar a sua implementação no já consolidado fluxo de trabalho multidisciplinar suportado pela plataforma BIMserver.center [1].

2. Plataforma e fluxo de trabalho multidisciplinar

O BIMserver.center é uma plataforma colaborativa, localizada na nuvem, destinada à partilha e troca de informação para o projeto de edifícios.

Apresenta características como: a possibilidade de definição da equipa de projeto, incluindo sistema de autorizações, coordenação e validação da informação; ligação direta e automática às aplicações das especialidades do projeto, através do formato aberto IFC, incluindo a comunicação de resultados; partilha de informação geométrica e não geométrica e registo de alterações; sincronização da informação partilhada das especialidades do projeto e obtenção do modelo federado; é também local de encontro de entidades intervenientes no projeto. A plataforma foi desenvolvida para permitir o acesso a partir do computador ou dispositivos móveis, como o tablet ou smartphone. As aplicações BIMserver.center e BIMserver.center VR permitem ainda consultar o modelo federado em realidade aumentada ou virtual, respetivamente [2].

A plataforma BIMserver.center foi desenvolvida para suportar o fluxo de trabalho multidisciplinar, Open BIM, que a seguir se descreve sucintamente.

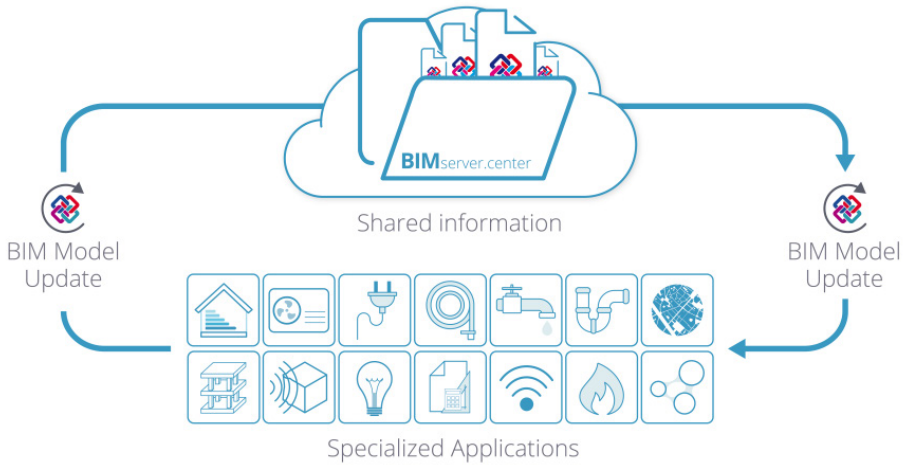


Figura 1
Fluxo de trabalho multidisciplinar.

A Figura 1 ilustra o fluxo de trabalho multidisciplinar [2] que inicia com a abertura do projeto na plataforma, pelo coordenador de projeto, bem como a criação da equipa de trabalho e as condições de acesso de cada colaborador. Após esta fase inicial, o fluxo é flexível, não obedece a nenhuma sequência obrigatória. O passo seguinte poderá ser a partilha do modelo arquitetónico na plataforma, pelo arquiteto, concebido através do CYPE Architecture ou de qualquer outro software BIM de arquitetura.

Com base no modelo arquitetónico, cada engenheiro cria o modelo inicial da sua especialidade, definindo e caracterizando os respetivos elementos. Depois, seleciona as funções de cálculo, dimensionamento e de verificação regulamentar, deste modo obtém automaticamente um modelo modificado resultante do cálculo. O processo é iterativo, os elementos que constituem o modelo podem ser modificados e de novo verificados, até que se encontrem validados pelos respetivos engenheiros. Este

processo, de modelação e cálculo, ocorre ao nível das aplicações do BIMserver.center. Desta forma obtém-se o modelo final de cada especialidade que é partilhado na plataforma, formando no seu conjunto o modelo federado com informação geométrica e não geométrica, ficando disponível para todos os projetistas da equipa de trabalho (arquitetos e engenheiros). Qualquer modelo que tenha sido desenvolvido noutro software BIM, poderá ser igualmente partilhado.

O coordenador de projeto coordena as várias especialidades a partir da análise do modelo federado, localizado na plataforma, podendo utilizar a aplicação Open BIM Model Checker para identificação de interferências e colisões. Sempre que seja necessário efetuar alterações, repetem-se as tarefas num processo cíclico até que o projeto esteja concluído.

3. Funções do software CYPE Architecture

O CYPE Architecture é uma ferramenta de modelação arquitetónica BIM, especificamente concebida para colaboração, através da sua integração no fluxo de trabalho multidisciplinar, Open BIM. As ferramentas da aplicação são distribuídas em três grupos principais: Esboço, Arquitetura e Mobiliário [3].

O programa é dotado, por um lado, de ferramentas que provêm da modelação clássica e, por outro, de ferramentas que provêm do ambiente de modelação BIM. Estes dois tipos de ferramentas combinados, permitem ao arquiteto passar do conceptual ao arquitetónico.

O separador Esboço, Figura 2, inclui ferramentas de conceção e edição conceptual, tais como retas, curvas, polígonos, extrusão, offset, interseção, entre outras. Estas ferramentas permitem a conceção de geometrias planas ou tridimensionais nas quais se pode basear o desenvolvimento subsequente de planos e volumes através das ferramentas incluídas no separador Arquitetura.

Figura 2
Menu Esboço.

O separador Arquitetura, Figura 3, inclui todas as ferramentas para introduzir e editar os elementos que compõem o modelo BIM arquitetónico. Entre as ferramentas encontram-se os elementos verticais como paredes, fachada cortina, gelosias e pilares; os elementos horizontais como lajes, tetos falsos e vigas; as coberturas como telhas e formação de pendentes; as aberturas como janelas, portas, claraboias; as ligações verticais como escadas, rampas e ascensores. As ferramentas de edição incluem, por um lado, ferramentas tradicionais tais como editar, mover, copiar, rodar, e, por outro lado, ferramentas específicas para a edição geométrica e resolução de interseções. Além disso, existem outros grupos para a criação de espaços, para a

criação e gestão de elementos de referência e organização do modelo como níveis e etiquetas.

Figura 3
Menu Arquitetura.

O separador Mobiliário, Figura 4, inclui as ferramentas necessárias para dotar de contexto o modelo e ajudar na organização dos espaços e respetiva utilização. Os diferentes grupos permitem a introdução e edição de elementos de mobiliário, propriamente ditos, eletrodomésticos, aparelhos sanitários e elementos de jardim.

Figura 4
Menu Mobiliário.

Embora não haja limitações na utilização das ferramentas para a criação de elementos arquitetónicos, são propostas duas opções, ou estratégias possíveis, para desenvolver um projeto: modelação direta, 3D/BIM, e modelação sequencial, precedida de um desenho tradicional 2D. Na modelação direta o arquiteto desenvolve o projeto desde o conceptual até ao arquitetónico. Na modelação sequencial, o arquiteto dispõe do desenho tradicional 2D, em ficheiros de imagem ou de CAD, e através da importação destes desenhos desenvolve o modelo arquitetónico BIM dispensando a fase conceptual no CYPE Architecture. Esta estratégia foi pensada para possibilitar uma transição amigável para o BIM, ou seja, o arquiteto pode manter os seus processos de desenho 2D e quando assim o entender, poderá fazer a transição para o 3D/BIM.

4. Caso de estudo

O caso de estudo teve como objetivo demonstrar a utilidade e pertinência da implementação do CYPE Architecture no fluxo de trabalho multidisciplinar, através do desenvolvimento de um projeto que incluiu a conceção da arquitetura e restantes especialidades de engenharia. O projeto corresponde a um caso de teste do software, desenvolvido por uma equipa de projetistas, entre os quais os autores deste artigo, e foi concebido a partir do pequeno edifício de habitação "Cube House", de Simon Ungers. O edifício encontra-se localizado em Ithaca, nos Estados Unidos, tendo sido construído com o pretexto de servir de refúgio de fim-de-semana [4].

O projeto tem a pretensão de ser uma interpretação da "Cube House", pelo que se consideram áreas e funções semelhantes, e não uma cópia fiel do original.

O edifício dispõe de rés do chão, primeiro andar e cobertura. Para cada piso consideram-se os espaços que a seguir se descrevem. Rés do chão, com cozinha e sala comum, quarto, casa de banho e escada interior. Primeiro andar, com um espaço comum destinado a cozinha, sala e quarto, casa de banho e escada interior. A cobertura é plana e acessível. A escada interior liga o rés do chão e o primeiro andar. No exterior existe uma escada que liga o rés do chão, o primeiro andar e a cobertura.

Para a realização do projeto foram utilizadas várias aplicações do software CYPE, estas são ferramentas de cálculo para as várias especialidades do projeto, nomeadamente: arquitetura, estabilidade, instalação de gás, redes prediais de abastecimento de água, esgotos e águas pluviais, infraestruturas de telecomunicações, alimentação e distribuição de energia elétrica, estudo de comportamento térmico, AVAC, segurança contra incêndios em edifícios e condicionamento acústico.

O projeto BIM, é um processo contínuo que implica sucessivas iterações, cada uma com várias interações entre as especialidades do projeto, uma vez que Saídas (outputs) de determinadas especialidades são Entradas (inputs) para outras. Por ser fundamental, apresenta-se a descrição detalhada da primeira iteração, seguida de interações importantes realizadas no âmbito das restantes iterações ocorridas no desenvolvimento do presente projeto.

4.1. Primeira iteração

Uma primeira iteração, cuidada e abrangente, poderá evitar problemas em fases mais avançadas do desenvolvimento do projeto. Optou-se, assim, por estabelecer uma primeira iteração com um conjunto elevado de interações de modo a obter um pré-dimensionamento bastante rigoroso, cujos elementos construtivos (arquitetónicos, estruturais, canalizações, instalações, equipamentos, sistemas, etc.), sejam muito próximos dos finais.

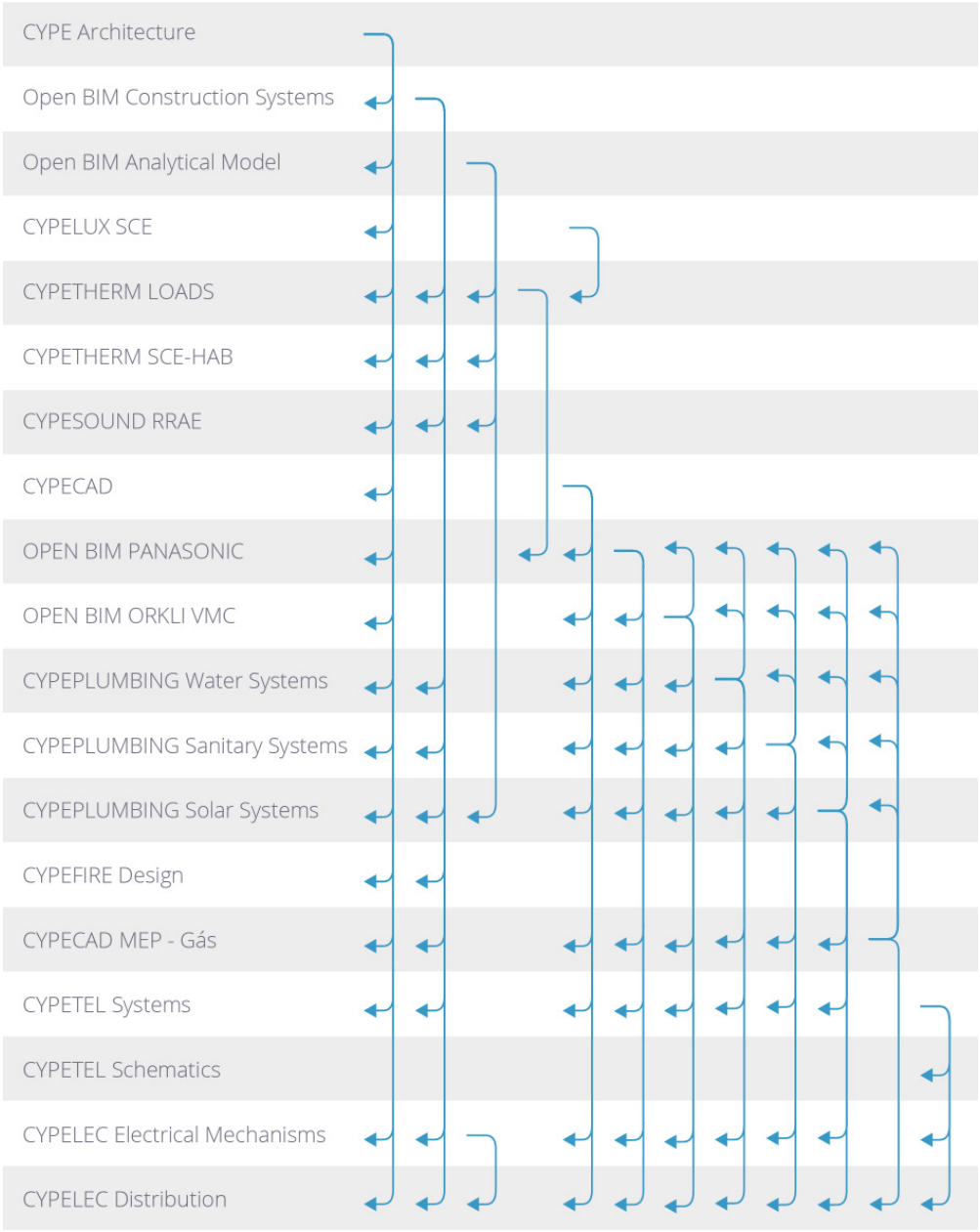


Figura 5
Fluxo da primeira iteração.

O planeamento da primeira iteração deu, assim, origem ao fluxo de interações apresentado na Figura 5. Nesta figura identificam-se as aplicações utilizadas, note-se que para cada especialidade podem ser utilizadas uma ou mais aplicações.

As setas indicam o sentido do fluxo de informação. A título de exemplo apresenta-se a Tabela 1 com as interações da aplicação CYPETHERM LOADS, que permite realizar o cálculo de cargas térmicas.

Tabela 1
Aplicação CYPETHERM LOADS, Entradas e Saídas.

Entradas		Aplicação	Saídas	
CYPE Architecture	Modelo Arquitetónico	CYPETHERM LOADS	Cargas térmicas	Open BIM PANASONIC
Open BIM Construction Systems	Soluções construtivas			
Open BIM Analytical Model	Pontes térmicas e disposição dos espaços			
CYPELUX SCE	Potência das luminárias			

A tabela apresenta as Entradas e as Saídas do CYPETHERM LOADS. Observa-se que, por um lado, a aplicação utiliza: o modelo arquitetónico do CYPE Architecture; as soluções construtivas (como paredes e lajes) do Open BIM Construction Systems; as pontes térmicas e disposição dos espaços do Open BIM Analytical Model e as potências das luminárias do CYPELUX SCE. Por outro lado, a aplicação CYPETHERM LOADS calcula as cargas térmicas, que são depois utilizadas pelo programa: Open BIM PANASONIC.

A interação entre aplicações materializada através da troca de informação é realizada a partir do BIMserver.center, ou seja, sempre que se verifique uma troca de informação ela só é possível porque a plataforma permite efetuá-la através dos modelos, em IFC, de cada aplicação.

Existe também um conjunto de aplicações que podem ser utilizadas permanentemente em cada uma das iterações, tais como o BIMserver.center realidade aumentada ou realidade virtual e o Open BIM Model Checker. Optou-se por não colocar estas aplicações na Figura 5, uma vez que tornaria a leitura do fluxo demasiado complexa.

Salienta-se, no entanto, a importância do Open BIM Model Checker que foi utilizado para identificar interferências e colisões proporcionando assim a sua imediata correção.

4.2 Restantes iterações e interações relevantes

Para permitir a passagem das condutas da instalação de ventilação mecânica controlada (VMC) verificou-se a necessidade de alterar as vigas altas, do contorno das lajes, para vigas rasas e consequentemente a necessidade de aumentar a altura do teto falso. Não sendo possível ilustrar neste artigo todas as modificações efetuadas ao projeto, apresenta-se a resolução da primeira colisão, assim, a Figura 6 ilustra a colisão (imagem da esquerda) e respetiva resolução (imagem da direita), visualizadas a partir da aplicação de VMC, antes e após a alteração estrutural.

A primeira modificação teve como consequência a revisão do projeto de estruturas e, para além do descrito acima, incluiu a colocação de pilares a meio das fachadas de modo a diminuir o vão das vigas e ainda a revisão do projeto térmico, devido à alteração das pontes térmicas.

A segunda modificação, ou seja, o aumento da altura do teto falso, teve como consequência alterações: nos envidraçados; na instalação de ar condicionado, com a necessidade de reposicionar os splits; no estudo luminotécnico, com a necessidade de reposicionar as luminárias e consequente alteração no resultado das cargas térmicas (não houve, contudo, necessidade de modificar os equipamentos de ar condicionado). Teve ainda consequência no projeto térmico e acústico com a diminuição dos valores geométricos dos elementos construtivos e pé direito útil não tendo, contudo, alterado a classe energética.

A escada exterior, à qual se atribuiu inicialmente menor importância do ponto de vista do pré-dimensionamento, não foi modelada na primeira iteração, consequentemente após o dimensionamento da respetiva fundação verificou-se a necessidade de deslocar uma caixa de visita da rede de drenagem de águas residuais, inicialmente colocada junto da escada, arrastando consigo o coletor enterrado. Na sequência desta alteração houve também a necessidade de reposicionar os ramais de introdução das redes de abastecimento de água e de gás.

O facto de se modelarem, para além dos aparelhos sanitários, também elementos de mobiliário e eletrodomésticos permitiu em consecutivas iterações efetuar ajustes, nos modelos das várias especialidades, com vista à colocação adequada, entre outros, das canalizações, cabos, interruptores, tomadas elétricas e de telecomunicações.

O modelo arquitetónico foi sistematicamente solicitado, nas várias iterações, do ponto de vista da troca de informação geométrica, uma vez que se verificou a necessidade de efetuar ajustes à arquitetura na sequência de alterações aos projetos das especialidades de engenharia, como as referidas anteriormente.

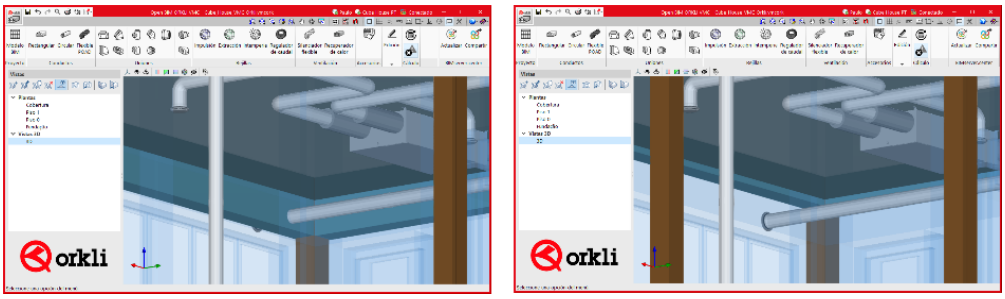


Figura 6
Resolução de colisão entre conduta e viga.

4.3. Modelo federado

Na Figura 7, observam-se duas imagens do modelo arquitetónico, a primeira apresenta elementos opacos e a segunda os mesmos elementos com transparências, tornando o interior visível.

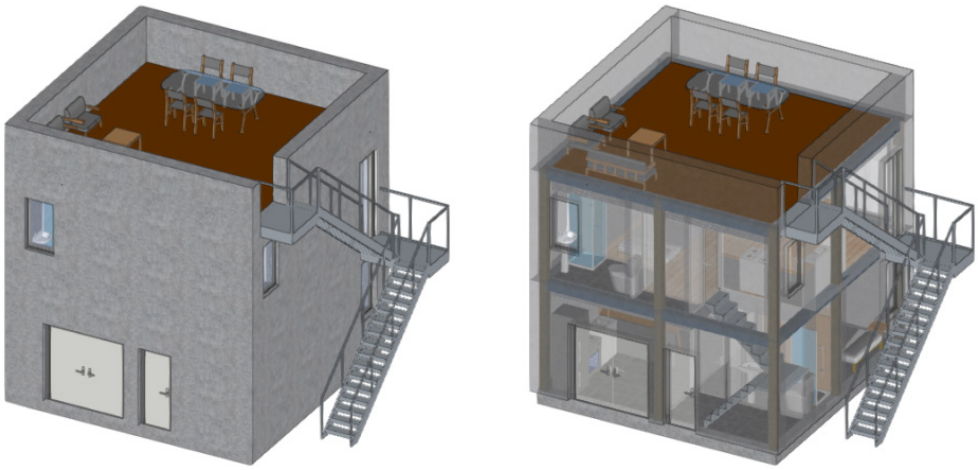


Figura 7
Modelo arquitetónico, perspetiva opaca e com transparências.

O modelo federado foi obtido à medida que foi sendo desenvolvida cada iteração. A partilha do modelo na plataforma BIMserver.center é obrigatória para cada especialidade interveniente em cada iteração, deste modo fica à disposição dos restantes colaboradores do projeto, podendo assim realizar-se as interações desejadas através da troca de informação geométrica e não geométrica. O modelo foi sendo atualizado e/ou alterado desde a primeira até à última iteração, que neste caso se previa que correspondesse ao projeto de execução. Note-se que o modelo federado se encontra disponível para prosseguir no ciclo de vida do edifício.

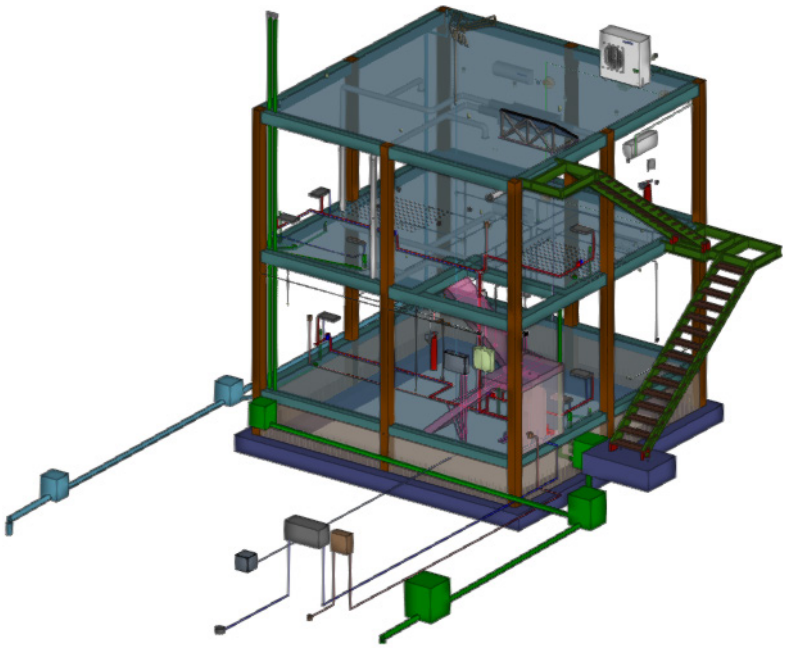


Figura 8
Modelo federado com especialidades de engenharia.

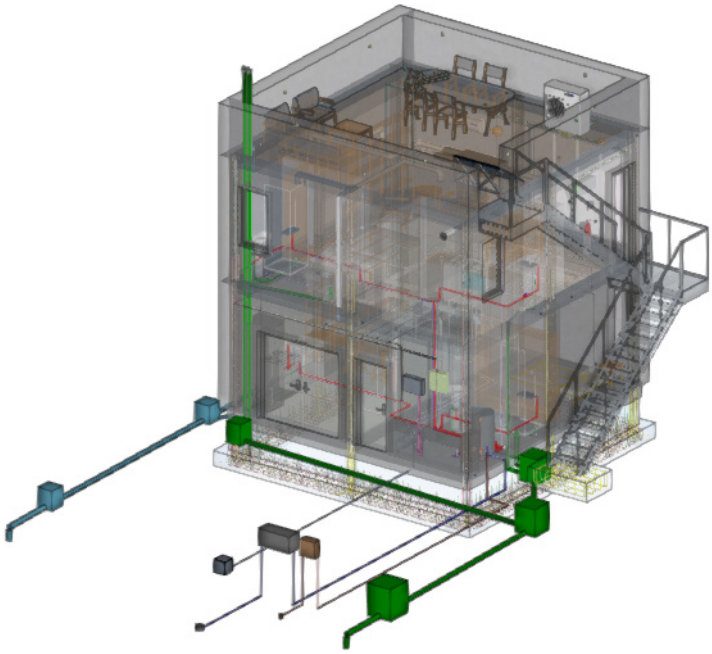


Figura 9
Modelo federado completo (especialidades de arquitetura e engenharia.

A Figura 8 apresenta o modelo federado, com os modelos das especialidades de engenharia, onde se podem ver, nomeadamente, elementos estruturais, canalizações, instalações, equipamentos, sistemas, entre outros. A Figura 9 apresenta o modelo federado completo incluindo a especialidade de arquitetura.

O modelo federado permitiu, para além da partilha de informação, a identificação de interferências e colisões originando sucessivas alterações e ajustes até à validação final do projeto. É relevante concluir que o projeto BIM permite facilmente a identificação de erros na fase de projeto com a consequentemente diminuição de custos e tempos de execução na construção.

5. Conclusões

O modelo arquitetónico em BIM é atualmente uma necessidade para os engenheiros projetistas, o CYPE Architecture é uma aplicação gratuita que foi concebida para satisfazer esta carência, procurando motivar o arquiteto para a realização dos seus modelos em BIM. São propostas duas estratégias possíveis, ao arquiteto, para desenvolver o projeto de arquitetura: a modelação direta, 3D/BIM, do conceptual ao arquitetónico e a modelação sequencial, precedida de um desenho tradicional 2D, mantendo numa fase de adaptação os processos de trabalho.

O CYPE Architecture é uma ferramenta desenvolvida para o projeto colaborativo, através da sua implementação no fluxo de trabalho multidisciplinar, Open BIM. O CYPE Architecture, bem como as restantes aplicações do BIMserver.center para as várias especialidades do projeto, criam uma cópia do modelo em formato IFC, guardam-na numa pasta local e, utilizando o sincronizador, partilham o respetivo modelo na nuvem BIMserver.center, formando assim o modelo federado.

A plataforma BIMserver.center é um repositório de projetos através da qual os modelos são partilhados e permanecem acessíveis em qualquer altura para os colaboradores da equipa do projeto.

O caso de estudo permitiu demonstrar a utilidade e pertinência da implementação do CYPE Architecture no fluxo de trabalho multidisciplinar Open BIM, através da troca de informação realizada entre as várias especialidades do projeto, materializada pelas aplicações CYPE e plataforma BIMserver.center. Este fluxo, por ser Open BIM, pode incluir modelos em IFC de qualquer especialidade do projeto desenvolvida noutros *softwares*.

Referências

[1] P. Assis, R. Figueira and P. Gilabert, "Plataforma Open BIM para o projeto de engenharia," in CONSTRUÇÃO 2018, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018, pp. 740-749.

[2] P. Assis, R. Figueira and P. Gilabert, "Sistemas Open BIM para fabricantes," in *3.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2020, pp. 901-910.

[3] "CYPE Achitecture - User's Manual" [Online]. CYPE, 2021. [Consult. 1 Dez. 2021]. Disponível em https://www.cype.net/documents_en/manuals/cype_architecture_09.pdf.

[4] "Cube House" [Online]. Espanha: Arquitectura Viva, 2021. [Consult. 30 Nov. 2021]. Disponível em https://arquitecturaviva.com/works/casa-cubo-ithaca.

Algoritmos de aprendizagem computacional para a modularização de projetos de arquitetura

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.5

Sofia Feist[1], **Luís Sanhudo**[1], **Vítor Esteves**[1], **Miguel Pires**[2], **António Aguiar Costa**[1]

[1] *BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Porto*

[2] *CASAIS – Engenharia e Construção, Braga*

Resumo

Apesar da construção modular permitir aumentar significativamente a produtividade na construção, a sua adoção permanece lenta devido ao elevado grau de repetição e normalização necessário para a sua implementação, tipicamente pouco implementado pelos projetistas e requisitado pelos clientes. Para abordar este problema, o presente artigo propõe uma metodologia de modularização a ser implementada após a fase de design estar concluída, aproveitando as vantagens da construção modular enquanto mantem a visão e o design original do edifício. Esta metodologia é baseada numa metodologia de *semi-supervised clustering* para agrupar divisões individuais em grupos conforme a sua semelhança, identificando, posteriormente, um módulo base para representar cada *cluster*. A metodologia proposta é aplicada num caso de estudo no qual foi realizado previamente um processo de modularização manual, servindo como ponto de referência e comparação. Os resultados mostram uma redução de 99,6% do tempo necessário para executar o processo de modularização, justificando o desenvolvimento continuado desta metodologia em trabalhos futuros.

1. Introdução

Analisando a situação atual de produtividade no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), é possível verificar um atraso considerável em relação a outros setores [1]. Por forma a combater este problema, a indústria AEC tem progressivamente adotado técnicas modulares, de prefabricação e construção *offsite*, em alternativa aos tradicionais métodos de construção *onsite* [2]. Os benefícios da pré-fabricação têm sido amplamente documentados na literatura, e incluem processos de construção mais rápidos e produtivos, resultando em edifícios de maior qualidade [2, 4]. Bertram et al. [5] reportam reduções de 20-50% na duração de projetos modulares e mais de 20% em custos de construção. Por sua vez, a repetição e uniformização da construção modular potencia a reciclagem e reutilização dos materiais, resultando em projetos mais sustentáveis e com menor desperdício [4].

Apesar destas vantagens, a construção modular continua a ser um método pouco popular junto dos clientes devido ao elevado grau de normalização e repetição exigido para reduzir os custos de fabricação [6]. Uma solução para este problema passa por adaptar as estratégias da construção modular ao design existente, em vez de adaptar o design à construção modular. À inversão deste processo denominamos modularização, termo usado para definir o processo de racionalizar o edifício em unidades normalizadas que permitam a sua pré-fabricação *offsite*, sem comprometer a essência do design original. Esta técnica é geralmente impulsionada pelo empreiteiro que beneficia deste aumento de produtividade.

No entanto, esta entidade é normalmente envolvida no empreendimento de construção após o fim do processo de design [3], numa fase onde a sua capacidade de influenciar o projeto é limitada, constituindo um obstáculo à implementação destas técnicas modulares. Notavelmente, a modularização pós-design de projetos não modulares pode envolver um processo de racionalização complexo e moroso, originando atrasos e custos acrescidos de projeto que podem ser evitados introduzindo automatização no processo de modularização.

Para abordar este problema, o presente artigo propõe desenvolver e validar em caso de estudo uma metodologia baseada em *machine learning* para a modularização automática de projetos não-modulares. Esta metodologia usa um algoritmo de *semi-supervised clustering* para agrupar divisões com características semelhantes em *clusters*, usando feedback do utilizador sobre os resultados para guiar o algoritmo e obter resultados mais precisos. A partir destes resultados, é possível a identificação de um módulo base para representar cada conjunto de divisões semelhantes. A metodologia proposta pode ser aplicada durante a fase da pré-construção, aproveitando os benefícios da construção modular e, simultaneamente, mantendo a visão e o design original do edifício.

2. Estado da Arte

No setor AEC, o processo de modularização é geralmente heurístico, sendo que os módulos são identificados com base nas especificações de cada projeto, derivado da experiência do arquiteto ou engenheiro [7]. Este processo não é, no entanto, de fácil implementação, uma vez que cada projeto de arquitetura é único e requer soluções personalizadas, resultando num processo de modularização subjetivo e dependente de múltiplas variáveis como a funcionalidade do módulo, os limites associados ao processo de pré-fabricação, bem como os respetivos custos. Ao contrário de outras indústrias [7], são poucos os estudos deste processo na indústria AEC.

Isaac et al. [8] desenvolveram uma metodologia de *hierarchical clustering* baseada em gráficos para decompor o projeto de um edifício em módulos de acordo com as suas taxas de substituição relativa. De forma semelhante, Samarasinghea et al. [7] aplica uma metodologia de *hierarchical clustering*, combinando-a com uma *Dependency Structure Matrix* para otimização do número de módulos, tendo em conta os custos de montagem e transporte.

Noutro estudo, com o objetivo de diminuir o número de componentes únicos de um edifício, Mohamad et al. [9] propõem um método de modularização de projetos pontuais baseado na subdivisão de um edifício em grelha e no alinhamento e normalização dos componentes desse mesmo edifício com a grelha criada. Por fim, Tserng et al. [10] foca a modularização de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, aplicando uma técnica de processamento baseada em regras para decompor estes sistemas em múltiplas componentes.

Dos estudos mencionados acima, apenas Isaac et al. [8] apresentam um procedimento sistemático e automatizado para a modularização de projetos de construção. No entanto, este estudo foca-se na modularização da interface entre módulos e não nos próprios módulos. A metodologia apresentada neste artigo pretende abordar esta lacuna.

3. Metodologia

Para promover a modularização de projetos não modulares, foi desenvolvida uma metodologia baseada em *semi-supervised clustering*, que usa informação sobre as divisões de um edifício para identificar módulos que possam ser industrializados para a construção. Como ilustrado na Figura 1, esta metodologia recebe como *input* um modelo BIM previamente preparado, extraindo e processando a informação do modelo para alimentar o algoritmo de *semi-supervised clustering*. O algoritmo calcula a semelhança entre divisões com base na informação extraída e agrupa-as em *clusters* distintos. Posteriormente, as divisões com maior grau de incerteza durante o *clustering* são manualmente validados pelo utilizador, que identifica as atribuições corretas e incorretas dos módulos. Este *feedback* é depois utilizado numa nova iteração da análise de *clustering*. O processo é repetido iterativamente até ser encontrada uma

solução satisfatória. Por fim, a metodologia devolve as divisões identificadas com o respetivo módulo, bem como os centros dos *clusters* calculados, que são utilizados na configuração dos módulos.

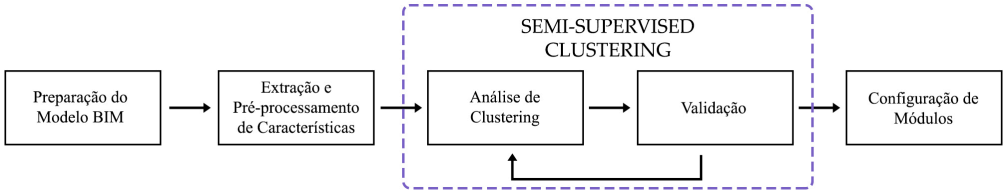


Figura 1
Metodologia proposta para a modularização de divisões.

A metodologia foi implementada sob a forma de *plugin* para o *software Autodesk Revit*, tendo sido utilizadas as linguagens de programação C# e *Python* durante o seu desenvolvimento.

3.1. Preparação do modelo BIM

Na base da metodologia apresentada, está o modelo BIM de um edifício. Antes de iniciar o processo de extração, este modelo requer uma prévia preparação por forma a cumprir as regras de modelação estipuladas. Nomeadamente, visto a modularização ser aplicada a divisões, a categoria *Room* do *Revit* deve estar devidamente modelada e identificada com o parâmetro *Uniclass Code* [11], por forma a distinguir diferentes tipologias de divisões no modelo. Embora a análise possa ser igualmente executada para diferentes tipos de divisões, não é recomendada a análise de múltiplos tipos simultaneamente, uma vez que as diferenças inerentes entre tipologias (e.g., casas de banho vs. cozinhas) podem facilmente ofuscar as diferenças entre divisões do mesmo tipo. Isto pode dar origem a resultados indesejados.

3.2. Extração e pré-processamento de características

Uma vez pronto o modelo BIM, a informação das divisões escolhidas é extraída para análise. A informação obtida inclui as características consideradas mais relevantes para descrever a arquitetura das divisões e pode ser classificada em três categorias: (1) *arquitetura da divisão*; (2) *dados sobre as tipologias de objetos*; e (3) *dados sobre o posicionamento dos objetos*.

A primeira categoria, *arquitetura da divisão*, considera o tamanho e forma do *Room*, incluindo medidas como o comprimento, a largura, a altura, a área, o perímetro e o seu número de paredes. Para tornar estas dimensões invariáveis à orientação da divisão, o comprimento e a largura são considerados, respetivamente, o valor mais alto e mais baixo entre os dois.

A segunda categoria, *dados sobre a tipologia de objetos*, descreve as características arquitetónicas da divisão (portas, janelas, mobiliário e equipamentos) através de informação quantitativa e descritiva dos objetos, tais como as suas tipologias no *software*

de modelação. A título de exemplo, consideremos as características das seguintes casas de banho:

- CB1 – uma sanita, um lavatório, um chuveiro;
- CB2 – uma sanita, dois lavatórios, um chuveiro, um bidé;
- CB3 – uma sanita, um lavatório, uma banheira.

Embora a casa de banho CB1 seja facilmente distinguível da CB2 pelo seu número de equipamentos sanitários, a mesma não é distinguível da CB3 apenas com esta informação. Para contabilizar esta diferença, foi desenvolvido um algoritmo de vectorização para codificar as diferentes tipologias de equipamentos sanitários em informação numérica, transformando os dados categóricos (tipos) em numéricos (vetores). Assim, é obtido um espaço multidimensional de características numéricas onde a análise de *clustering* pode ser aplicada. Retomando o exemplo anterior, as casas de banho seriam representadas pelos vetores visíveis na Tabela 1.

Tabela 1
Exemplo da conversão de variáveis categóricas em variáveis numéricas.

Instâncias de Casas de Banho		Chuveiro	Banheira	Sanita	Lavatório	Bidé	
Casa de banho CB1	[	1	0	1	1	0	]
Casa de banho CB2	[	1	0	1	2	1	]
Casa de banho CB3	[	0	1	1	1	0	]
...							
Casa de banho CBn	[	–	–	–	–	–	]

Finalmente, a terceira categoria, *dados sobre o posicionamento dos objetos*, retorna informação sobre o posicionamento dos objetos na divisão. Para isso, é calculada a distância euclidiana entre o ponto de posicionamento de cada objeto e o centro do *Room*, tornando esta informação independente da sua orientação. Usando este método, divisões simétricas ou transpostas têm maior probabilidade de serem incluídas no mesmo módulo, visto a distância ao centro permanecer igual. Várias métricas são depois derivadas das distâncias calculadas para caracterizar a divisão (i.e., média, desvio padrão, máximo, mínimo e somatório).

Com a informação extraída, os dados são normalizados entre 0 e 1 e enviados para análise.

3.3. *Semi-supervised clustering*

O *semi-supervised clustering* é um processo iterativo aqui aplicado em duas fases distintas: análise de *clustering*; e a validação. A primeira fase permite calcular a semelhança entre divisões, agrupando-as por *cluster,* enquanto a segunda permite ao utilizador examinar os *clusters* obtidos, validando as divisões conforme a sua correta/incorreta atribuição ao *cluster*.

3.3.1. Análise de *clustering*

A análise de *clustering* é baseada no algoritmo *Constrained K-means algorithm* (COP--KMEANS), introduzido por Wagstaff et al. [12]. O COP-KMEANS é uma variação do algoritmo K-means [13], com a incorporação adicional de restrições dadas pelo utilizador. Estas restrições traduzem o conhecimento do utilizador sobre as instâncias que devem ou não ser agrupadas. Este conhecimento é dado sob a forma de dois tipos de restrições: (1) *must-links*, que especificam duas instâncias que devem ser colocadas no mesmo *cluster*; e (2) *cannot-links*, que especificam duas instâncias que não devem ser colocadas no mesmo *cluster*.

Na iteração base, i.e., a primeira análise antes da validação, uma vez que ainda não existe *feedback* do utilizador (i.e., nenhuma restrição), o algoritmo COP-KMEANS regride para o algoritmo K-means. Apenas após o primeiro processo de validação (Secção 3.3.2), é que as restrições são criadas para guiar o COP-KMEANS.

Um requisito de ambos os algoritmos é a identificação do número de *clusters* k nos quais os dados devem ser agrupados – valor que nem sempre é conhecido. Para ultrapassar este problema, a implementação proposta avalia múltiplos números de clusters k_i, dentro de um dado intervalo $k_{min} \leq k_i \leq k_{max}$, onde $k_{min} \geq 2$ e $k_{max} < \overline{D}$. D representa os *Rooms* existentes no modelo BIM. Dentro deste intervalo, para cada conjunto de *clusters* é calculado o Coeficiente de Silhueta [14], sendo escolhido o k_i que retorne o maior coeficiente. Para um maior controlo, os valores de k_{min} e k_{max} podem ser alterados pelo utilizador.

3.3.2 Validação

O processo de validação permite ao utilizador ganhar controlo sobre os resultados do algoritmo, ajudando-o a identificar as diferenças relevantes entre módulos. De forma a evitar sobrecarregar o utilizador com informação, apenas uma pequena percentagem das divisões mais dessemelhantes (i.e., as divisões mais longe do centro do *cluster*) são mostradas durante o processo de validação. A percentagem de dessemelhança pode ser definida pelo utilizador.

Usando esta percentagem, as divisões consideradas mais dessemelhantes no *cluster* são validadas uma a uma, tal como ilustrado na Figura 2. Nesta interface, o utilizador pode:

1. Aceitar o *cluster* sugerido;
2. Rejeitar o *cluster* sugerido;
3. Atribuir a divisão a outro *cluster*, diferente do sugerido.

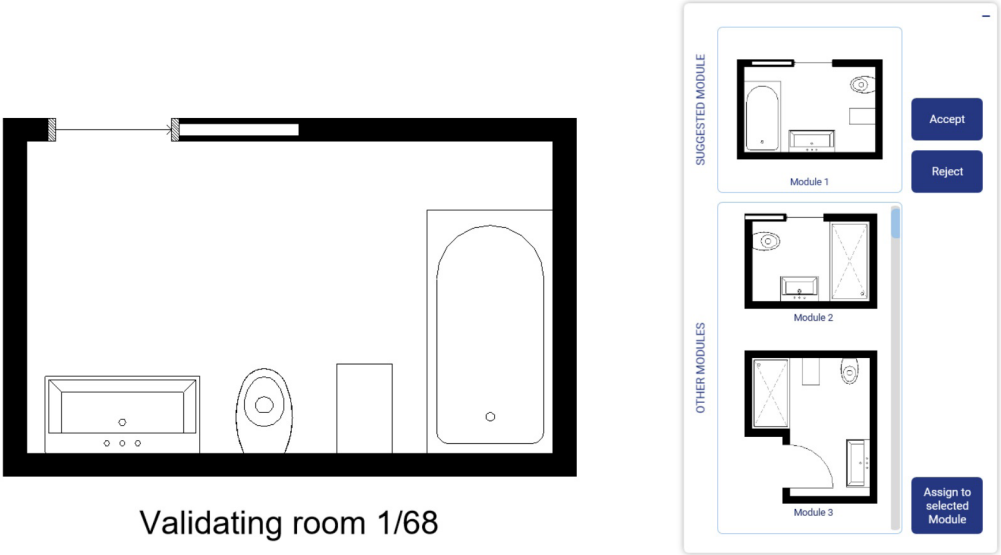


Figura 2
Interface de validação do plugin desnvolvido.

Aceitar ou atribuir uma divisão a um *cluster* específico (opção 1 e 3) cria uma restrição *must-link* entre a divisão validada e a divisão correspondente ao centro do *cluster* sugerido ou escolhido. Por sua vez, rejeitar o *cluster* sugerido (opção 2) cria uma restrição *cannot-link* entre a divisão validada e a divisão correspondente ao centro do *cluster* sugerido.

Com esta informação, a fase de validação termina, iniciando o processo iterativo entre o algoritmo COP-KMEANS, que sugere novos *clusters* tendo em conta o *feedback* do utilizador, e a validação, que avalia os novos resultados do algoritmo. Este processo pode ser repetido várias vezes até ser encontrada uma solução satisfatória. Esta solução pode ainda ser alterada numa revisão manual final, na qual o utilizador pode mover divisões entre *clusters*.

É importante referir que o *feedback* do utilizador é guardado entre iterações, ou seja, restrições criadas na primeira iteração permanecem até ao final do processo iterativo. Neste ponto, por forma a, mais uma vez, prevenir que o utilizador seja alvo de demasiada informação, um *Room* que já tenha sido previamente validado com um *must-link* não é mostrado em iterações seguintes, mesmo que se encontre dentro da percentagem de dessemelhança.

3.4. Configuração de módulos

Uma vez encontrada uma solução, é criado um módulo para cada *cluster*. Este módulo corresponde ao centro do *cluster*. Sendo que toda a informação sobre as divisões já foi extraída anteriormente, é também possível gerar automaticamente a geometria 3D do módulo de cada *cluster*, que pode ser usada para substituir as divisões não-modulares originais do modelo BIM.

4. Caso de Estudo

A metodologia proposta foi demonstrada num caso de estudo de um complexo residencial composto por seis blocos com um máximo de seis pisos. O projeto fez parte de um investimento em grande escala, incluindo até dois hectares de área construída, jardins privados e outras áreas de atividades exteriores.

Durante a fase de pré-construção, foi identificado um elevado potencial para a modularização e industrialização das 233 casas de banho do projeto, uma vez que estas apresentavam estruturas e sistemas de parede semelhantes. Adicionalmente, sendo esta uma das tipologias de divisões com mais instalações por metro quadrado, a sua modularização resultaria em vantagens significativas nos custos e duração do projeto. Esta modularização foi executada manualmente pelo empreiteiro de obra e consistiu em racionalizar o design do edifício para encontrar grupos de casas de banho que pudessem ser industrializadas na fabricação. Este processo manual é usado neste caso de estudo como referência para avaliar a metodologia proposta.

4.1. Modularização manual pela equipa de empreiteiros

A modularização manual consistiu em comparar a arquitetura de todas as 233 casas de banho do projeto de modo a encontrar semelhanças. Através desta comparação, as casas de banho foram agrupadas, primeiro, de acordo com a forma da divisão e respetivas dimensões e, segundo, de acordo com a disposição em planta dos equipamentos sanitários contidos. Dentro de um grupo ou *cluster* de casas de banho, foram admitidas pequenas diferenças, tais como casas de banho simétricas ou pequenas variações no espaçamento entre equipamentos.

No final deste processo, as 233 casas de banho únicas foram reduzidas a 46 grupos que podiam, com pequenas alterações ao projeto, ser adaptadas para industrializar a sua construção. Os resultados foram listados numa folha de *Excel*, com as respetivas identificações, dimensões e *cluster* atribuído a cada casa de banho. Esta informação foi também guardada num ficheiro CAD, contendo as plantas de todas as casas de banho agrupadas por *cluster,* bem como o respetivo módulo proposto para representar cada grupo.

Este processo manual foi complexo e demorado, requerendo uma equipa de duas pessoas e dois meses para ser finalizado. Permitiu, no entanto, reduzir significativamente os custos de construção e melhorar a produtividade com fabricação *offsite*.

4.2. Modularização automática usando a metodologia proposta

Tal com mencionado na Secção 3.1, todas as casas de banho foram identificadas com o seu parâmetro *Uniclass Code*, i.e., *SL_35_80_08*, permitindo a filtragem das divisões para a análise exclusiva de casas de banho. Usando estes dados, a informação das casas de banho foi extraída e processada automaticamente utilizando os métodos descritos anteriormente.

As análises de *clustering* foram executadas para o intervalo de 36-56 *clusters* (±20% que o número de *clusters* encontrado durante a modularização manual) e uma percentagem de dessemelhança de 60% (i.e., apenas as divisões com uma percentagem de dessemelhança superior a 60% são mostradas durante o processo de validação). Finalmente, foi iterativamente executado o processo de *semi-supervised clustering* até ser encontrada uma solução satisfatória.

Entre cada iteração da análise de *clustering*, foram calculadas várias métricas para medir o desempenho do algoritmo face à modularização manual, i.e., o *ground truth*. Entre elas, o *Normalized Mutual Information Score* (NMI) e o *Adjusted Mutual Information Score* (AMI) [15] medem a concordância entre duas atribuições de *clusters* (rótulos previstos vs *ground truth*), ignorando permutações. A diferença entre as duas é que o AMI é ajustado para considerar a aleatoriedade do algoritmo. Foram também usadas as métricas *Homogeneity* e *Completeness* [16], que permitem uma análise mais intuitiva dos resultados, i.e., a primeira métrica indica se cada *cluster* é apenas composto por membros da mesma classe, enquanto a segunda indica se todos os membros de uma dada classe estão classificados no mesmo *cluster*.

5. Resultados e Discussão

A Figura 3 resume os resultados da aplicação da metodologia ao caso de estudo, incluindo o valor de NMI, AMI, *Homogeneity* e *Completeness* por iteração, bem como o número de *clusters* obtido pelo Coeficiente de Silhueta. A Figura 4 mostra o número de validações por iteração.

Analisando a Figura 3, podemos observar que a iteração base (i.e., antes do processo de validação) atinge um NMI de 92,2% e um AMI de 85,6%. Estes resultados asseguram a viabilidade das características extraídas e na sua capacidade de retratar as casas de banho.

Após a primeira iteração, as sucessivas iterações mostram uma melhoria dos valores NMI e AMI em 4,2% e 7,7%, respetivamente, atingindo os valores máximos de 96,4% e 93,3% na iteração 3. Tanto a *Homogeneity* como a *Completeness* refletem estes resultados, apesar da pequena descida na iteração 2, que se deve ao rearranjo dos *clusters* em resposta às restrições criadas pelo utilizador durante a fase de validação. Focando a Figura 4, é possível ver que o número de módulos validados oscila devido aos incrementos de 5% na percentagem de dissemelhança, mas decresce gradualmente ao longo do processo de validação, refletindo a convergência do algoritmo.

Neste caso de estudo, o processo de *semi-supervised clustering* foi terminado pelo utilizador após a iteração 8, aceitando os resultados dessa iteração como satisfatórios. Os resultados deste processo podem ser gerados como os módulos representativos de cada *cluster* (utilizando o respetivo centro), alguns dos quais são visíveis na Figura 5.

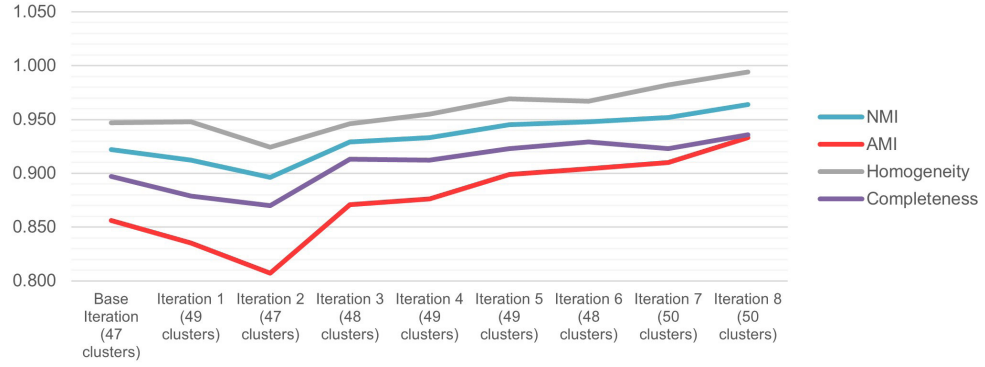


Figura 3
Performance da metodologia proposta comparada com a *ground truth*.

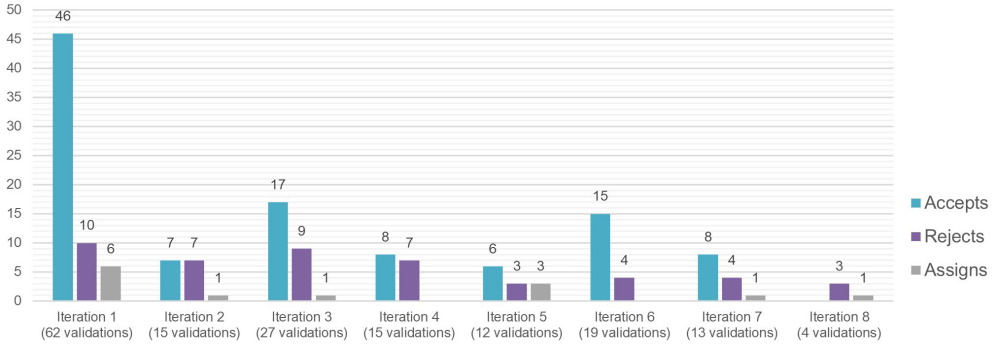


Figura 4
Número e tipo de validações por iteração.

Por fim, os ajustes finais aos módulos e aos respetivos *clusters* podem ser feitos manualmente. Dois modos de visualização foram criados para apoiar este processo:

O primeiro copia e gera as componentes base das divisões (e.g., paredes, portas, janelas, equipamentos, mobiliário) para uma nova vista no *software* de modelação, dispondo-as em grelha conforme o respetivo *cluster*. Isto permite uma comparação direta entre diferentes divisões e *clusters*, ajudando a identificar possíveis atribuições incorretas.

O segundo colora as divisões em planta de acordo com o respetivo *cluster*. Isto permite uma visualização mais contextualizada da envolvente de cada divisão, permitindo auferir informação que possa impactar significativamente a atribuição dos *clusters* como a localização de elementos estruturais próximos, possíveis falhas de continuidade em sistemas MEP, a arquitetura geral dos edifícios, entre outros.

No total, excluindo o processo de validação manual final, a aplicação da metodologia teve uma duração de duas horas. Comparativamente, como mencionado anteriormente, o processo de modularização manual teve uma duração superior a dois meses. Assim, os resultados obtidos representam uma redução de 99,6% da duração do processo de modularização, quando comparado à abordagem manual.

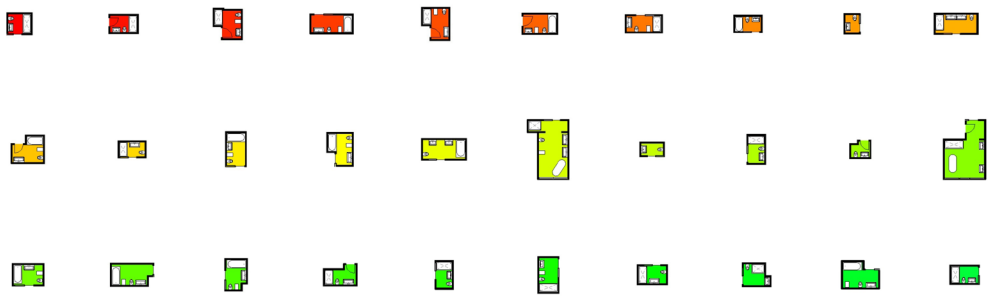


Figura 5
Exemplo de módulos obtidos com a aplicação da metodologia proposta.

6. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo a melhoria do processo de modularização de projetos não modulares. Com este intuito, foi proposta uma metodologia baseada em BIM e *machine learning*, que permite automatizar o processo de modularização.

A aplicação da metodologia num caso de estudo demonstrou uma redução de 99,6% na duração do processo, mantendo um desempenho de 96,4% NMI e 93,3% AMI. Assim, a metodologia permite uma rápida avaliação do potencial de modularização de um projeto, bem como a aquisição de uma solução de modularização otimizada, tendo por base o *feedback* do utilizador. Desta forma, é possível condensar em escassas horas um processo que previamente demoraria semanas, justificando o desenvolvimento continuado desta metodologia.

Os trabalhos futuros irão focar-se na melhoria da precisão da metodologia, através do ajuste das características da análise de *clustering*, do teste da metodologia em diferentes tipologias de divisões e do desenvolvimento de ferramentas de apoio à integração da metodologia no fluxo tradicional da Construção.

Apesar de o artigo ter focado a modularização de casas de banho, procurou-se demonstrar que esta pode ser generalizada a outras divisões. Os autores esperam que o sucesso deste caso de estudo estimule o investimento na automatização das tecnologias no sector da Construção, fomentando a sua pesquisa e adoção.

7. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014]. Os autores gostariam ainda de agradecer ao grupo CASAIS – Engenharia e Construção pelo seu contributo na realização deste artigo.

Referências

[1] Barbosa, F., Woetzel, J., and Mischke, J., *Reinventing Construction: A Route of Higher Productivity*. McKinsey Global Institute, 2017.

[2] Smith, R. E., *Prefab architecture: A guide to modular design and construction.* John Wiley & Sons, 2010.

[3] Song, L., Mohamed, Y., and AbouRizk, S. M., "Early contractor involvement in design and its impact on construction schedule performance," *Journal of Management in Engineering*, 2009, 25, pp. 12-20.

[4] Piroozfar, P., Altan, H., and Popovic-Larsen, O., "Design for sustainability: A comparative study of a customized modern method of construction versus conventional methods of construction," *Architectural Engineering and Design Management*, 2012, 8, pp. 55-75.

[5] B Bertram, N., Fuchs, S., Mischke, J., Palter, R., Strube, G., and Woetzel, J., *Modular construction: From projects to products*. McKinsey & Company: Capital Projects & Infrastructure, 2019.

[6] Construction, M. H., *Prefabrication and modularization: Increasing productivity in the construction industry*. SmartMarket Reports, 2011.

[7] Samarasinghe, T., Gunawardena, T., Mendis, P., Sofi, M., and Aye, L., "Dependency Structure Matrix and Hierarchical Clustering based algorithm for optimum module identification in MEP systems," *Automation in Construction*, 2019, 104, pp. 153-178.

[8] Isaac, S., Bock, T., and Stoliar, Y., "A methodology for the optimal modularization of building design," *Automation in Construction*, 2016, 65, pp. 116-124.

[9] Mohamad, A.; Hickethier, G.; Hovestadt, V.; and Gehbauer, F., "Use of modularization in design as a strategy to reduce component variety in one-off projects," em *21th Annual Conference of the International Group, Fortaleza*, Brazil, 2013.

[10] Tserng, H. P., Yin, Y. L., Jaselskis, E. J., Hung, W. C., and Lin, Y. C., "Modularization and assembly algorithm for efficient MEP construction," *Automation in Construction*, 2011, 20, pp. 837-863.

[11] NBS Enterprises, 'Uniclass 2015', 2021. [Online]. Disponível: https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015 [Acedido 20/10/2021].

[12] Wagstaff, K., Cardie, C., Rogers, S., and Schrödl, S., "Constrained K-means Clustering with Background Knowledge," em *Proceedings of 18th International Conference on Machine Learning*, United States, 2001.

[13] MacQueen, J., "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," em *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, United States, 1967.

[14] Rousseeuw, P. J., “Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis,” *Journal of Computational and Applied Mathematics,* 1987, 20, pp. 53-65.

[15] Vinh, N. X., and Bailey, J. E. J., “Information theoretic measures for Clusterings comparison: Variants, properties, normalization and correction for chance,” *The Journal of Machine Learning Research*, 2010, 11, pp. 2837-2854.

[16] Rosenberg, A., and Hirschberg, J., “V-measure: A conditional entropy-based external cluster evaluation measure,” em *Proceedings of the 2007 Joint Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and Computational Natural Language Learning*, Czech Republic, 2007.

A tecnologia de impressão 3D aplicada em processos de projeto de Arquitetura e Engenharia

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.6

Daniel Moutinho[1], **Pedro Ferreira**[1]

[1] *TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa*

Resumo

O uso de maquetes como ferramenta integrada no processo de desenvolvimento de projetos é muito comum entre os arquitetos, quer por estar enraizada na sua formação académica, quer pela constatação das vantagens no desenvolvimento e comunicação do projeto entre os diversos intervenientes no projeto. Contudo, na equipa de arquitetura da TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S. A. por razões inerentes à gestão do tempo e custos do projeto, constata-se uma grande dificuldade em alocar meios humanos para a realização de maquetes de estudo. Por outro lado, embora se considerem insubstituíveis, têm-se optado por outras ferramentas de comunicação com relação custo/benefício mais imediata (imagens foto realistas).

Dentro da realidade multidisciplinar da empresa, o uso de processos de prototipagem é menos frequente nas áreas disciplinares da engenharia de natureza infraestrutural. Por oposição, à semelhança dos arquitetos, os engenheiros de Geotecnia encontram grandes vantagens na utilização de maquetes para oferecer uma perspetiva mais clara das soluções de projeto no contexto topográfico intervencionado, podendo ser utilizada em contexto de projeto, obra e como auxiliar de planeamento.

De um modo consensual, percebe-se que as maquetes beneficiam a compreensão e qualidade dos projetos. De modo a se ultrapassarem as barreiras associadas ao seu custo, e disponibilização de recursos humanos, entendeu-se que os modelos BIM do projeto poderiam potenciar a realização de maquetes recorrendo a impressoras 3D. Neste sentido, desenvolveu-se o presente artigo com base em casos de estudo concretos, nos quais se explica o *workflow* utilizado, bem como os custos associados à sua realização comparados com o processo de prototipagem manual.

1. Introdução

Este artigo procura sintetizar a implementação de processos de maquetização associados ao desenvolvimento de projeto na empresa TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S. A. Com base em exemplos de projeto de arquitetura e engenharia pretende-se evidenciar as principais motivações para a implementação desta ferramenta, os obstáculos encontrados e o modo como se conseguiu viabilizar o objetivo com base na metodologia BIM e a tecnologia de impressão 3D.

2. A importância da maquete enquadrada nos processos de projeto

Os processos que envolvem o projeto são variados e decorrem do uso de várias ferramentas, como o computador, o esquisso e a maquete. A propósito destes instrumentos, o Arq.º Álvaro Siza Vieira [1] refere que são complementares, considerando que falhando um, há uma perda, e que é necessário funcionar com as possibilidades instrumentais que existem ao nosso dispor. Cada uma das ferramentas é incompleta se não for complementada com outros métodos.

O Arq.º Sou Fujimoto [2], no âmbito da sua prática, realça a importância do uso de meios simples, como palavras, esboços, maquetes e discussões em equipa no processo de exteriorização das suas ideias. A propósito da relação entre desenhos e maquetes, refere que caminham lado a lado, e que o processo de transformar modelos vagos e conceptuais, nascidos de esboços e palavras, em algo mais substancial, como maquetes tridimensionais, mais exatas e definitivas, é muito emocionante.

As ferramentas e a tecnologia existente têm como função diminuir a distância entre o que está na mente do projetista e a realidade, gerando uma forma visível de uma realidade interna [3] permitindo a discussão daquilo que antes era só uma ideia, a fim de dar consistência e integridade ao projeto [4].

No processo de desenvolvimento do projeto arquitetónico, entende-se que a maquete é absolutamente essencial como elemento de investigação, pesquisa e experimentação, de modo a refinar aspetos relacionados com validação conceitos, formas, a sua proporção, escala e modulação. Embora este instrumento se revele vantajoso como síntese, com uma componente de comunicação da solução final do projeto, a nossa experiência de projeto permite concluir que a sua maior vantagem reside no facto de ser implementado no desenvolvimento e não apenas no final do projeto.

3. Barreiras à implementação de processos de maquetização na empresa

No entendimento da equipa de projeto, embora seja evidente a importância que esta ferramenta desempenha, como complemento às demais utilizadas, a sua implemen-

tação, caracterizada por processos quase exclusivamente artesanais, revela-se cada vez mais difícil devido, sobretudo, às seguintes barreiras:

Indisponibilidade dos colaboradores: A dimensão das equipas de projeto associada ao número de projetos em curso, nem sempre permite que um colaborador, ou vários, se dedique a tempo inteiro, mesmo que pontualmente, durantes alguns dias ou semanas ao desenvolvimento de maquetes;

Custos elevados: Tendo a consciência do custo de cada colaborador, o seu tempo deve ser alocado do modo mais eficiente possível. Este fator associado aos honorários de projeto nem sempre permite o enquadramento de maquetes de estudo no desenvolvimento do projeto;

Prazos muito curtos: O mercado é muito competitivo. Tendencialmente o tempo de projeto é muito curto, o que implica uma grande disciplina no modo como o tempo é gerido. A fase de Estudo Prévio, mais exploratória e experimental, pode variar entre 2 semanas e 2 meses, dependendo da escala do projeto. Usar a maquete como ferramenta de investigação, pesquisa e experimentação é um desafio cada vez mais arriscado, que pode implicar muito trabalho extraordinário.

Independentemente das barreiras identificadas, quando existe a oportunidade de se desenvolverem maquetes de estudo, entende-se de modo unânime, que o projeto é claramente beneficiado.

4. Metodologia BIM e Impressão 3d: a oportunidade de implementação

A tecnologia de impressão 3d, designada por FFF – *Fused Filament Fabrication*, também conhecida como FDM – *Fused Deposition Modeling*, existe desde os anos 50 do séc. XX, e tem-se vindo a tornar acessível desde o início do séc. XXI com a criação da impressora auto-replicante (projeto RepRap) [5] [6]. Atualmente esta tecnologia é muito acessível, principalmente as impressoras que são montadas pelo próprio utilizador, como é o caso das *Crealty Ender-3* [7], usada no desenvolvimento das maquetes no âmbito do presente artigo. A *Ender-3* é considerada uma impressora 3D de baixo custo que em 2018, na altura do seu lançamento, se definiu como a referência no mercado para este tipo de impressoras.

Esta ferramenta, indissociável da modelação digital, permite a concretização de modelos, protótipos, ou maquetes com o rigor da geometria modelada. Como o modelo digital é um subproduto inerente à metodologia BIM, utilizada no desenvolvimento de projeto, não há a necessidade de se gerarem modelo específicos para impressão. O facto de nos servirmos do modelo de projeto para impressão permitiu uma implementação simples e rápida da tecnologia.

A possibilidade de impressão contínua, apenas condicionada pela quantidade de filamento disponível e pelo limite máximo de impressão no eixo Z, permite que o

equipamento possa trabalhar ininterruptamente durante o dia e noite, ao contrário do processo artesanal, no qual nos parece sensato considerar apenas 8 horas diárias.

A desvantagem que realçamos nas maquetes de estudo impressas, em comparação com o processo tradicional, é a dificuldade de se realizarem manualmente alterações. Como os objetos impressos são monolíticos, em materiais como PLA (*Polylactic acid*) ou PET (*Polyethylene terephthalate*) (entre outros) a sua rigidez não permite que se "corte e cole" como o cartão ou poliestireno nas maquetes tradicionais.

5. Breve explicação do processo de impressão 3D

Em primeiro lugar, o modelo virtual utilizado como base para a realização da impressão pode ser realizado através de softwares como o *Fusion 360*, o *Revit*, ou o *AutoCAD* a partir de desenhos em 2D ou desenvolvidos diretamente em 3D. Dependendo do modelo e do *software* utilizado, poderão ser executados os ajustes como a divisão do modelo, gerando as várias peças que o vão compor e que podem ser encaixadas ou coladas. Esta divisão resulta da necessidade de garantir que as dimensões dessas peças são compatíveis com a impressora utilizada, ou que as especificações exigidas para a representação do modelo final a imprimir são seguidas.

Em segundo lugar é realizada a exportação destes elementos para um formato mais versátil, um desses formatos é o STL (*Standard Tessellation Language*). Este é o formato standard atualmente e é um dos formatos mais utilizados para descrever de forma simples um objeto tridimensional.

Depois de convertidos estes objetos em superfícies que são representadas pelas coordenadas dos vértices dos vários triângulos, é necessário instruir a impressora do que tem que fazer para conseguir imprimir o nosso modelo. As impressoras 3D geralmente interpretam a linguagem de programação *G-code*, que é atualmente a linguagem padrão para máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado). Esta linguagem permite controlar, no caso das impressoras 3D FDM, a localização da cabeça de impressão, a aceleração, a velocidade, as temperaturas da base e da extrusora. Contudo, estes são apenas alguns dos parâmetros que têm de, ou que podem, ser configurados e passados para a impressora 3D em forma de instruções nesta linguagem. Para que isso seja possível, de uma forma simples e interpretável pelo Homem, são utilizados *softwares* conhecidos como *Slicers* (Figura 1), estes *softwares* utilizam algoritmos que permitem, de uma forma bastante simples e eficiente, converter o nosso modelo em *G-code*.

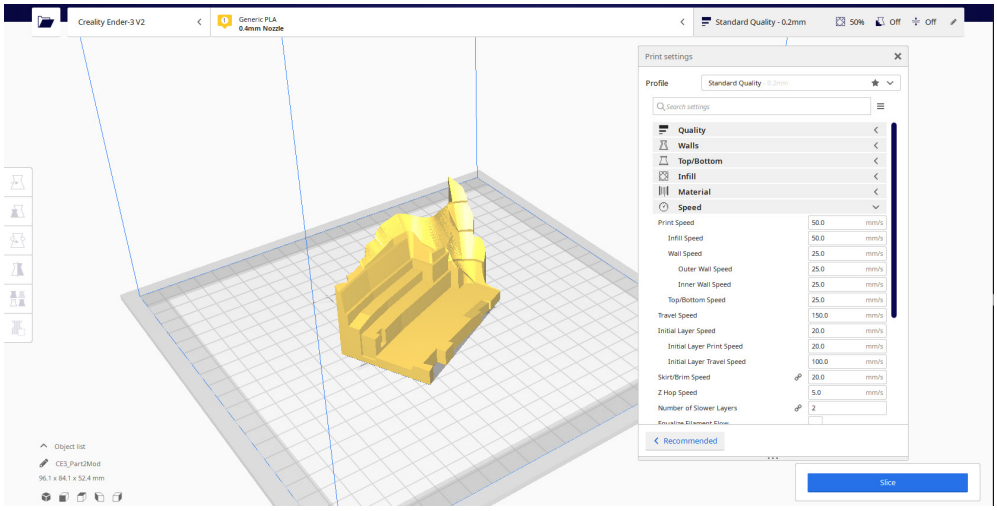


Figura 1
Ambiente de trabalho de um *Slicer – software Cura*.

A preparação num *Slicer* começa pela definição da posição, da escala, ou até do número de cópias que se quer do modelo e pela verificação de que todo o modelo, ou modelos, a imprimir cabem na impressora e que podem ser impressos de uma única vez. Este tipo de software normalmente apresenta no ambiente de trabalho uma base que deve corresponder às dimensões, largura e comprimento, da base real da impressora e uma altura correspondente à máxima que a cabeça de impressão pode atingir. Este *interface* permite perceber se é necessário ajustar as dimensões de cada peça no software de modelação antes realizar a impressão.

De seguida são definidos os parâmetros para a impressão de acordo com as capacidades da impressora e do tipo de filamento a utilizar. Esta é talvez a parte do processo que requer um maior conhecimento e esforço, sem contar com a do processo criativo e de modelação. Esta exigência ao nível do conhecimento sobre a parametrização para determinada impressora deve-se ao fato de existirem muitos tipos e marcas de filamentos com as mais variadas características e qualidades. Para além disso, existe uma multitude de modelos de impressoras 3D, e, por vezes o mesmo modelo pode ter variações em relação aos componentes que estão a ser utilizados e nesse caso os resultados finais podem ser diferentes dos esperados, caso isso não seja tido em consideração.

Em suma, é necessário conhecer bem a impressora, os filamentos que vamos utilizar, as condições de humidade e temperatura ambiente, entre outros. Por vezes, a aquisição do conhecimento necessário para se conseguirem boas impressões passa pelo método de tentativa/erro.

Alguns dos principais parâmetros a definir num S*licer* antes de imprimir são:

- Dimensão do *Nozzle* (bico de impressão);
- A altura das camadas;
- A espessura das paredes;
- A densidade do preenchimento da peça e o tipo de padrão utilizado;

- A temperatura a que a extrusão é realizada;
- A temperatura da base, caso seja aquecida;
- A velocidade de impressão;
- A necessidade de incluir peças de suporte temporárias para possibilitar a impressão de certas partes do modelo;
- A forma de adesão da peça à base;

Estes parâmetros são apenas alguns dos que podem ser definidos antes de se fatiar o modelo. O *software Cura* permite ver as camadas e fazer uma previsão da quantidade de material que será consumido na impressão. Este *software* permite ainda verificar se as partes da peça precisam de algum tipo de suporte. Se tudo estiver correto, é realizada a exportação do modelo e dos parâmetros para o *G-code*. A partir deste momento, resta apenas a calibração da base da impressora, o pré-aquecimento e a alimentação da impressora com o filamento escolhido.

6. Impressão 3D na Arquitetura

Para explicitar o modo como a impressão 3D tem sido utilizada para a realização de maquetes de estudo na disciplina de Arquitetura, escolhemos 3 projetos desenvolvidos em BIM (*Revit*), de diferentes tipologias e graus de complexidade. São todas maquetes consideradas "de estudo", umas de caráter mais estrutural e outras mais conceptuais.

De acordo com a nossa experiência, as principais condicionantes a ter em conta para desenvolver maquetes recorrendo a esta tecnologia são: as características geométricas dos edifícios; o propósito da maquete; e as limitações dimensionais de impressão dos equipamentos nos eixos X, Y e Z. Estas condicionantes fornecem informações importantes sobre o modo como as vistas tridimensionais do modelo BIM devem ser preparadas de modo a mostrar o estritamente necessário.

A complexidade dos projetos e a escala escolhida para a sua representação física nem sempre permite que as maquetes sejam impressas de uma só vez. Por essa razão, todos os exemplos apresentados são compostos por mais do que uma peça.

6.1. Maquete 1

Esta maquete representa parcialmente o projeto de um hotel na fase de Estudo Prévio, composto por 2 pisos abaixo do solo e 7 acima do solo. Foi concebida com o propósito de estudar a espacialidade e interação das dependências do piso térreo, com pé direito duplo, áreas exteriores e pisos superiores.

A maquete foi impressa à escala 1/200, em PLA branco, a partir do modelo BIM de projeto em *Revit* 2020 No âmbito da preparação do modelo virtual para impressão, apenas se mantiveram visíveis as paredes, pilares, lajes e escadas. Cada vista 3D foi confinada com a ferramenta *Section Box* de modo a mostrar apenas o piso a ou a par-

te do piso a imprimir. No caso do piso térreo, foi necessário concebê-lo em 4 peças, por se tratar da área maior.

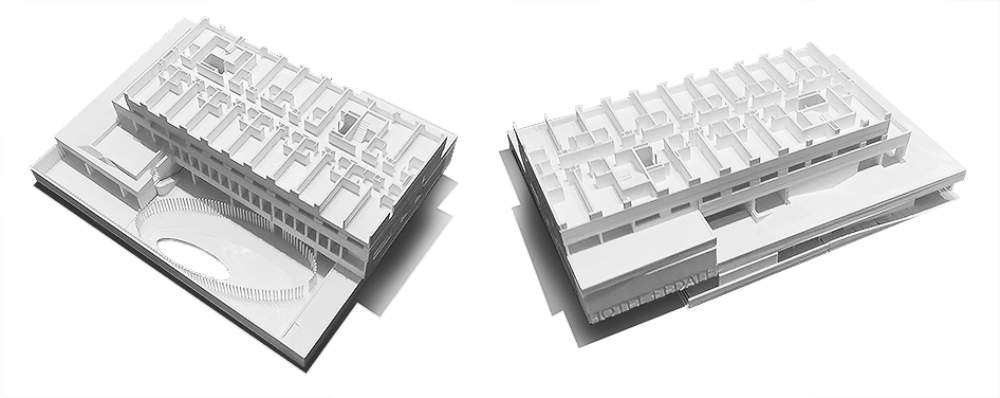


Figura 2
Fotografias da maquete 1.

6.2. Maquete 2

Este modelo refere-se ao projeto do edifício de uma Aerogare na fase de Estudo Prévio, representado à escala 1/200. De forma paralelepipédica, é composto por 2 pisos acima do solo, envolvido por uma pele em chapa metálica perfurada que permite ensombramento das superfícies envidraçadas. A maquete foi concebida com o propósito de auxiliar no desenho da espacialidade interior, caracterizada por espaços com duplo pé-direito nos quais a estrutura metálica tem grande protagonismo arquitetónico. Permitiu também ajudar o cliente a perceber o projeto.

À semelhança da maquete anterior, esta foi também concebida por pisos, à escala 1/200, em PLA branco, a partir do modelo BIM de projeto em *Revit* 2020. No entanto, a especificidade da fachada, que funciona como uma espécie de invólucro do edifício, precisou de ser impressa como uma peça à parte que permitisse a integridade do conjunto, mas que ao mesmo tempo permitisse a sua desmontagem. A estrutura da cobertura assim como a cobertura foram também impressas como peças separadas. A preparação das vistas do modelo BIM para exportação STL decorreu de acordo com o explicado para a Maquete 1.

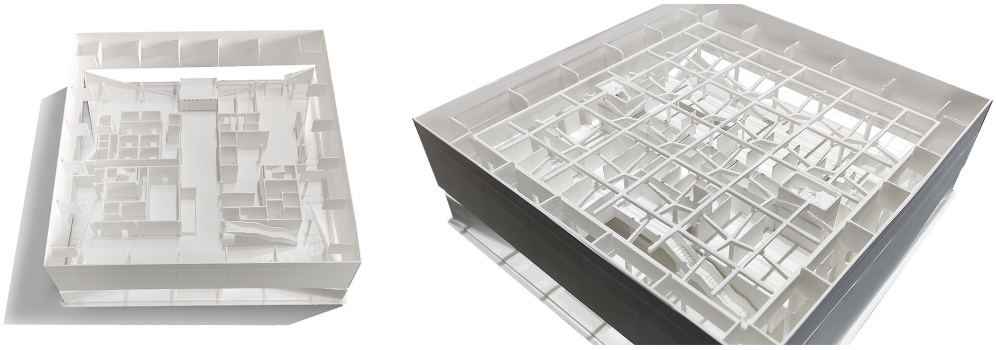


Figura 3
Fotografias da maquete 2.

6.3. Maquete 3

Esta maquete foi realizada no âmbito do projeto de remodelação de interiores para instalação da sede de uma empresa na fase de Estudo Prévio. Refere-se apenas ao piso de um edifício de escritórios que foi objeto de intervenção. Para além de evidenciar o espaço disponível, pretendia-se representar a estrutura de pilares e vigas que se constituíram como uma forte condicionante de projeto.

Nesta maquete à escala 1:200, ao contrário das maquetes anteriores, usaram-se 3 tipos de filamento: PLA branco, PLA com partículas de madeira e PET preto. Utilizou-se o modelo BIM de projeto em *Revit* 2021. Como se pretendia estudar vários cenários conceptuais de organização interior, esta maquete tem um caráter mais experimental que as anteriores. Todos elementos confinantes do piso existente foram impressos à parte, em PLA branco, funcionando como invólucro, assim como a estrutura de pilares e vigas. As peças referentes às diferentes soluções de layout foram impressas em PLA e PET de cor diferente para reforçar o contraste entre a solução proposta e o seu invólucro.

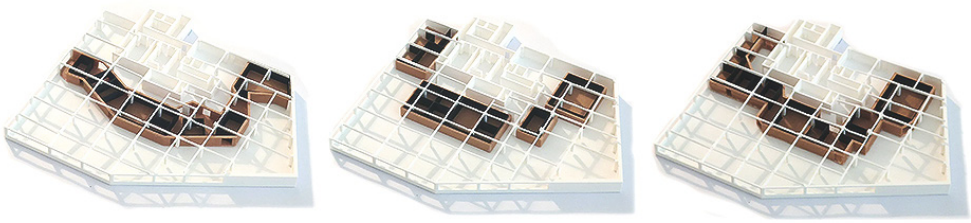


Figura 4
Fotografia da maquete 3 e das suas variantes.

7. Impressão 3D na Engenharia

Para além da Arquitetura, a disciplina que procurou explorar esta técnica de prototipagem automática foi a Geotecnia. No decorrer de uma formação de *Civil 3D*, concebida e ministrada internamente pela TPF Consultores aos seus colaboradores, surgiu a ideia de mostrar aos seus participantes a topografia que estavam a manipular recorrendo a uma impressora 3D de filamento (FDM). O projeto que foi utilizado como referência detalhava a forma como seria executada a escavação e a contenção periférica de um recinto para a construção de um edifício na Madeira com uma área total de aproximadamente 5 000 m^2.

Os formandos modelaram uma escavação de geometria complexa, que foi depois exportada como um sólido utilizando as ferramentas disponíveis no *Civil 3D*. Em primeiro lugar, das superfícies TIN que foram criadas no *Civil 3D* foram extraídos os sólidos necessários aplicando uma determinada profundidade de forma a permitir o seu suporte no tabuleiro da impressora. Em segundo lugar, estes sólidos foram preparados para que o modelo tivesse dimensões que a impressora pudesse imprimir, ou seja, teve que ser dividido em várias partes.

Esta maquete, definida à escala 1:1000, que inclui o terreno natural e a escavação associada, levou aproximadamente 40 horas a imprimir, numa impressora com uma dimensão de base de 20 x 20 cm (Figura 5).

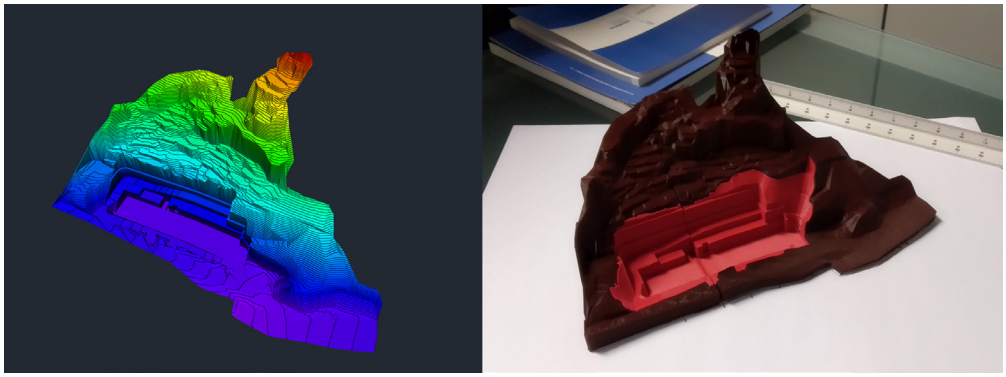


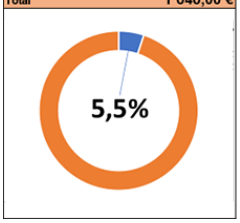
Figura 5
Modelo TIN e impressão 3D do terreno natural e da escavação.

Estre as vantagens mais evidentes para a disciplina de geotecnia, destacamos a facilidade de criar, de modo expedito, um modelo físico para auxiliar o projetista a comunicar a sua visão, tanto para a fase de projeto como para a fase de obra, para esclarecer dúvidas e servir de suporte à gestão de recursos *in loco*.

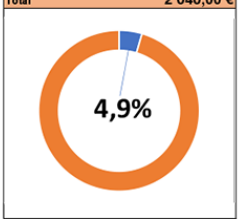
8. Custo

Com base numa folha de cálculo disponibilizada pela *Bitlab* [7] foi feito um estudo comparativo dos custos associados às maquetes realizadas através da impressão 3D vs processo tradicional.

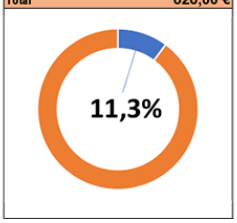
Maquete 1	ARQ
Custo impressão 3D	
Massa da peça [kg]	0,4
Tempo de impressão [h]	35
Custo do material	
- Plástico	8,80 €
- Eletricidade	2,63 €
Custo do operador	
- Preparação (1,5h)	30,00 €
- Pós-produção (2h)	40,00 €
Custo de falhas (10%)	8,14 €
Total	**89,57 €**
Custo processo tradicional	
Custo do operador	
(60h x 20€/h)	1 600,00 €
Custo do material	40,00 €
Total	**1 640,00 €**



Maquete 2	ARQ
Custo impressão 3D	
Massa da peça [kg]	0,32
Tempo de impressão [h]	40
Custo do material	
- Plástico	7,04 €
- Eletricidade	3,00 €
Custo do operador	
- Preparação (2h)	40,00 €
- Pós-produção (2h)	40,00 €
Custo de falhas (10%)	9,00 €
Total	**99,04 €**
Custo processo tradicional	
Custo do operador	
(100h x 20€/h)	2 000,00 €
Custo do material	40,00 €
Total	**2 040,00 €**



Maquete 3	ARQ
Custo impressão 3D	
Massa da peça [kg]	0,12
Tempo de impressão [h]	15
Custo do material	
- Plástico	2,64 €
- Eletricidade	1,13 €
Custo do operador	
- Preparação (1h)	20,00 €
- Pós-produção (2h)	40,00 €
Custo de falhas (10%)	6,38 €
Total	**70,14 €**
Custo processo tradicional	
Custo do operador	
(40h x 20€/h)	600,00 €
Custo do material	20,00 €
Total	**620,00 €**



Maquete 4	GEO
Custo impressão 3D	
Massa da peça [kg]	0,52
Tempo de impressão [h]	48
Custo do material	
- Plástico	11,44 €
- Eletricidade	3,60 €
Custo do operador	
- Preparação (2h)	40,00 €
- Pós-produção	5,00 €
Custo de falhas (0%)	0,00 €
Total	**60,04 €**
Custo processo tradicional	
Custo do operador	
(90h x 20€/h)	1 800,00 €
Custo do material	70,00 €
Total	**1 870,00 €**

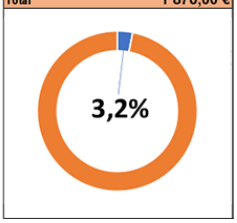


Figura 6
Quadro de comparativo de custos entre a impressão 3D e o processo tradicional.

É possível constatar que o custo de cada maquete impressa se situa entre 3,2 e 11,3% do que custaria segundo o processo manual, como se pode verificar na figura 6. No caso da maquete mais complexa e cara – a maquete 2 – o custo aproxima-se dos 100€, que é um valor considerado residual, perfeitamente enquadrável nos

processos de projeto, mesmo nos mais exigentes do ponto de vista do controlo de custos para a empresa.

9. Conclusão

Considerava-se essencial introduzir a realização de maquetes nos processos de projeto de arquitetura. Tendo em conta os elevados custos inerentes aos processos manuais, que dificultavam, projeto após projeto, a inclusão de maquetes no processo, os modelos BIM de projeto impulsionaram a implementação do processo de impressão 3D que se revelou como a única solução que viabilizou a intenção da equipa de arquitetura. O seu reduzido custo, que ronda 5% do custo do processo tradicional, é considerado insignificante, deixando de existir barreiras para a sua realização. Deste modo passou a ser possível que este recurso fosse também utilizado com naturalidade por disciplinas da engenharia que não têm tradição de realizar maquetes, nomeadamente a Geotecnia.

Referências

[1] Spain Arts & Culture. Álvaro Siza Vieira. Disponível em: <https://www.spainculture.pt/projetos-digitais/e-p-colab/alvaro-siza-vieira/> Acesso em: 4 jan. 2022.

[2] S. Fujimoto, Interviewee, *The centrality of sketching and modelling to his architecture*. [Entrevista]. 26 Abril 2013.

[3] ROZESTRATEN, Artur Simões. O desenho, a modelagem e o diálogo. Arquitextos, São Paulo, 07.078, Vitruvius, nov. 2006. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.078/299>. Acesso em 4 jan. 2022.

[4] J. Salmaso, S. Vizioli, " O uso do modelo físico e digital nos processos de projeto da arquitetura contemporânea", Relatório Final de Atividades, São Paulo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Brasil, 2012.

[5] I. Rita, J. Rocha, A. Francisco, A. Tomé, "Processo digitais HBIM-FFF para a representação física do património – o caso de estudo do Palácio Nacional de Sintra" in: 2. º Congresso Português de Building Information Modelling (2018), Lisboa, Portugal, 2018, pp. 169-178.

[6] The RepRap project. Disponível em: < https://reprap.org/wiki/RepRap> Acesso em 5 jan. 2022.

[7] Crealty3D Official Store. Disponível em: < https://www.creality3dofficial.com/> Acesso em 5 jan.2022.

[8] Bitbab. "Quanto custa imprimir em 3D? Calculadora de preço para imprimir em 3D". Disponível em: < https://bitfab.io/pt-pt/blog/quanto-custa-imprimir-em--3d/> Acesso em 5 jan.2022.

Parte II – Construção

Fluxograma para projetos BIM 4D: experimentação e proposta de aprimoramento em um grupo de pesquisa em Natal, Brasil

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.7

Daniel de Oliveira[1], **Leo Azevedo**[2], **Josyanne Giesta**[3], **Alfredo Costa Neto**[4]

[1] *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal,* https://orcid.org/0000-0002-0160-9008

[2] *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal,* https://orcid.org/0000-0003-2520-2728

[3] *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal,* https://orcid.org/0000-0002-0596-3821

[4] *Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal,* https://orcid.org//0000-0002-3967-6855

Resumo

O *Building Information Modeling* (BIM) é uma metodologia em ascensão no mercado da construção civil no mundo e no Brasil. No entanto, diante de sua complexidade, torna-se necessário a criação de fluxos de trabalho que orientem os profissionais da área para um projeto eficiente e completo, a fim de que esta metodologia se dissemine. Sendo assim, o Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos (GIP), vem desenvolvendo, nos últimos anos, fluxos de trabalho para a organização de projetos BIM, especialmente em sua modalidade 4D, que alia as três dimensões tradicionais com o tempo. Apesar de alguns autores na literatura terem desenvolvido fluxos, os registros de sua experimentação prática são escassos. Desta forma, este artigo traz a aplicação prática do fluxo de trabalho para BIM 4D, desenvolvido pelo GIP, por meio do método de *Design Science Research* (DSR), que busca aproximar a teoria da prática. O teste foi aplicado no projeto de ampliação do setor administrativo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, campus Apodi. O principal resultado obtido foi a reformulação do fluxograma original, guiado pelos pontos fortes e inconsistências do fluxo original. Todavia, é importante destacar que a experimentação e reformulação desses fluxos é um trabalho contínuo, com o objetivo de se chegar a um resultado mais refinado possível.

1. Introdução

O *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, em português, é uma metodologia que se encontra em expansão crescente no universo da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), pois permite uma integração nunca antes vista entre os elementos de uma edificação. Afinal, o BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que formam uma filosofia capaz de gerenciar os dados da fase de projeto até o descarte da edificação em uma modelagem virtual, o que amplia o horizonte de possibilidades na área [1].

Uma das possibilidades de uso do BIM é a sua versão 4D, que combina a modelagem 3D com o cronograma da construção, gerando uma maquete virtual em que é possível acompanhar o estado físico da obra, de acordo com a passagem do tempo, até sua conclusão. Essa integração entre espaço e tempo pode melhorar a confiabilidade dos cronogramas e minimizar os problemas de comunicação [2], tornando a obra mais eficiente.

Todavia, por ser um processo complexo, fluxos de trabalhos são necessários para auxiliar os profissionais a construírem esses modelos virtuais, sem gastarem tanto tempo e esforço na busca de caminhos para tal. Alguns modelos de fluxogramas foram desenvolvidos em pesquisas anteriores, mas a experimentação prática destes é escassa [3], o que pode distanciar o fluxo teórico da realidade vivida nos escritórios e na obra.

Desta maneira, o presente artigo tem como fito apresentar a experiência de aplicação prática de um fluxo para BIM 4D desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos (GIP), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), bem como a proposta de um fluxo reformulado com base na análise da fluxo original. Para tal, foi utilizada a produção da modelagem de uma reforma do setor administrativo do *campus* Apodi da instituição, com análise crítica dos processos. Assim, espera-se contribuir para o incremento do BIM 4D em toda a área da construção civil. Este trabalho prossegue com o projeto do GIP em realizar estudos na seara do BIM 4D e agir como facilitador na implementação desta metodologia no Brasil.

2. Metodologia

Esta pesquisa possui um caráter de aplicação prática de elementos teóricos, pois realizou a experimentação de um fluxo de trabalho para modelos BIM 4D, previamente produzido pelo GIP. Apesar de existirem alguns estudos que abordem o BIM e proponham fluxos de trabalho, não foram identificados estudos que façam testes práticos com tais fluxogramas, o que se caracteriza como uma lacuna na área. O objetivo deste trabalho é aproximar a teoria e a realidade, analisar e propor melhorias no processo, para que se torne mais eficaz.

Para alcançar tal fito, o grupo optou pelo método conhecido como *Design Science Research* (DSR), que busca entender a problemática, contruir e avaliar artefatos, que permitam transformar situações, alterando as condições para estados melhores e desejáveis [4]. Dentre os quatro tipos de artefatos considerados no método – constructos, modelos, métodos e instanciações – o presente trabalho irá desenvolver uma instanciação, que é definida como a inserção do artefato em um contexto real [4].

Desta maneira, o grupo dividiu o estudo em três fases: a) revisão; b) avaliação; e c) reformulação.

Na primeira etapa, para ampliar o referencial teórico dos autores, foi feita uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com base no tema planejamento BIM 4D. Foram considerados artigos completos e acessíveis por meio de uma plataforma governamental, em português e inglês, publicados entre 2014 e 2019. As bases de dados utilizadas foram Scopus, ScienceDirect e SciELO, e o string de busca envolveu o termo "BIM 4D" e sinônimos. Quanto aos critérios de inclusão, o principal foi a abordagem direta do tema pesquisado no trabalho analisado. Os critérios de exclusão incluem desde artigos duplicados até a ausência do termo "BIM 4D" nos resumos e/ou palavras-chave.

Na fase de avaliação foi feita a análise do fluxo original produzido pelo GIP para o BIM 4D. Para tal, os pesquisadores aplicaram o fluxo no desenvolvimento de uma modelagem do projeto de reforma do setor administrativo de um dos *campi* da instituição. A modelagem foi feita seguindo todos os passos determinados pelo workflow, reproduzindo-os em softwares BIM da Autodesk, como o Revit e o Navisworks. Desta forma, foi possível analisar os pontos fortes e as inconsistências do fluxograma em questão, o que permitiu prosseguir para a etapa de reformulação.

Na última fase, foram sintetizados os pontos que necessitavam de ajustes a partir da análise feita. Com isso, foram sugeridas melhorias ao fluxo de trabalho; além de adicionar e remover etapas do processo, foi feita uma reorganização visual para torná-lo mais atrativo e intuitivo. Assim, surgiu um novo fluxo de trabalho para o BIM 4D, que pretende solucionar os problemas encontrados e auxiliar o processo de implementação do BIM no mercado.

3. Resultados e discussão

3.1. Revisão Sistemática de Literatura

Para verificar o estado da arte em que se encontra o BIM 4D em relação a planejamento e fluxos de trabalho, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura. Após a inserção das strings de busca, as bases de dados retornaram um total de 41 artigos que continham o termo "BIM 4D" nos títulos e/ou palavras-chave.

Em seguida, foram aplicados os seguintes critérios determinados no protocolo, para que os artigos que fossem lidos na íntegra estivessem de acordo com os objetivos da pesquisa:

- Critérios de inclusão:
- Período de publicação: 2014 a 2019;
- Artigos que tratem de maneira explícita sobre planejamento com BIM 4D.

- Critérios de exclusão:
- Artigos duplicados;
- Artigos em outras línguas que não o Português e o Inglês;
- Pôsteres;
- Artigos inacessíveis, bloqueados ou pagos;
- Artigos sem o termo BIM 4D no resumo;
- Artigos que não tratem sobre planejamento BIM 4D como tema principal.

Após a aplicação destes filtros, o número de artigos para leitura completa reduziu para 6, sendo que todos eles abordavam a pauta de planejamento e gestão de obras. Apesar da realização desta revisão, nenhum dos artigos analisados abordou fluxos de trabalho para o BIM 4D, seja em seu aspecto teórico ou metodológico, seja em uma aplicação prática. Mesmo assim, a RSL auxiliou os autores a conhecerem o estágio dos estudos no tema BIM 4D e quais usos possíveis, dentro desta dimensão, estão sendo mais estudados, como também os que não estão sendo estudados e se configuram como lacuna.

3.2. Avaliação

Com o referencial teórico formado, a etapa de avaliação teve início. Primeiramente, foi obtido o fluxo de trabalho original criado pelo GIP (figura 1), objeto de análise do grupo. Em seguida, foi disponibilizado gentilmente pela diretoria de engenharia do IFRN, a planta baixa em Computer Aided Design (CAD) da reforma do setor administrativo do *Campus* Apodi, para que esta fosse modelada seguindo a metodologia BIM, de acordo com o *workflow* do GIP.

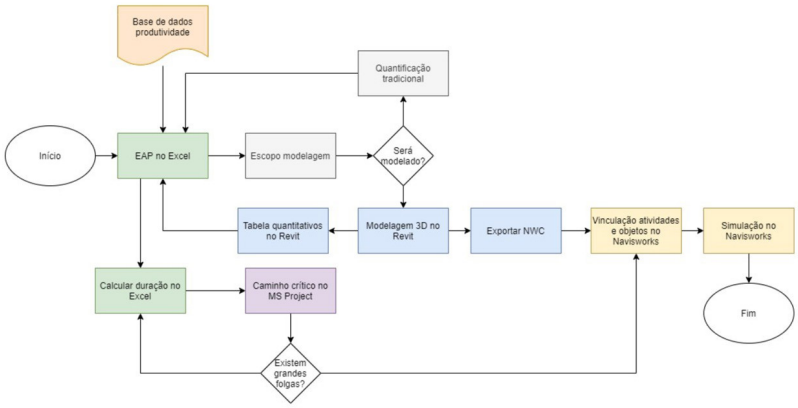


Figura 1
Fluxo de trabalho original para BIM 4D desenvolvido pelo GIP.

O fluxo de trabalho inicia-se com a produção de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), que basicamente se configura com a divisão de todas as tarefas da obra em pacotes de trabalho mais facilmente gerenciáveis. Apesar de ser um ponto central da produção da modelagem, a EAP é melhor produzida após o desenvolvimento do projeto arquitetónico, já que antes dele é abstrato saber quais elementos e tarefas estarão presentes na construção da edificação. Portanto, para corrigir essa inconsistência, sugeriu-se realocar a etapa de EAP para uma posição posterior, assim como a etapa relacionada aos cálculos no *software* Excel, da Microsoft.

Em seguida, o fluxo direciona para o escopo da modelagem. Como essa etapa está necessariamente interligada à modelagem em si, decidiu-se suprimir esta etapa e seguir para a modelagem 3D no Revit. Nesta etapa, o grupo desenvolveu no software toda a modelagem do novo setor administrativo do campus Apodi (figura 2), para poder prosseguir com a análise em questão.

Figura 2
Modelagem 3D do setor administrativo do *campus* Apodi.

Logo após a modelagem, foram extraídas tabelas de quantitativos, que associadas a dados de taxas de produtividade e à EAP produzida, originaram um diagrama de Gantt. Este diagrama de Gantt foi desenvolvido no Microsoft Project, software apropriado para este tipo de tarefa, e que pode ter seu arquivo vinculado ao software da próxima etapa, o Navisworks, da Autodesk.

Na etapa seguinte, os arquivos do projeto foram extraídos e convertidos para vinculação no Navisworks, para assim se realizar a simulação 4D, que é a etapa final. No entanto, o grupo sentiu falta de uma etapa de compatibilização entre os elementos existentes no modelo 3D e os elementos existentes na EAP e no Diagrama de Gantt. Por exemplo, na simulação realizada, o telhado não foi construído por não constar no cronograma (figura 3). Assim, sugeriu-se criar uma etapa que contemple esse processo no novo fluxo que será desenvolvido.

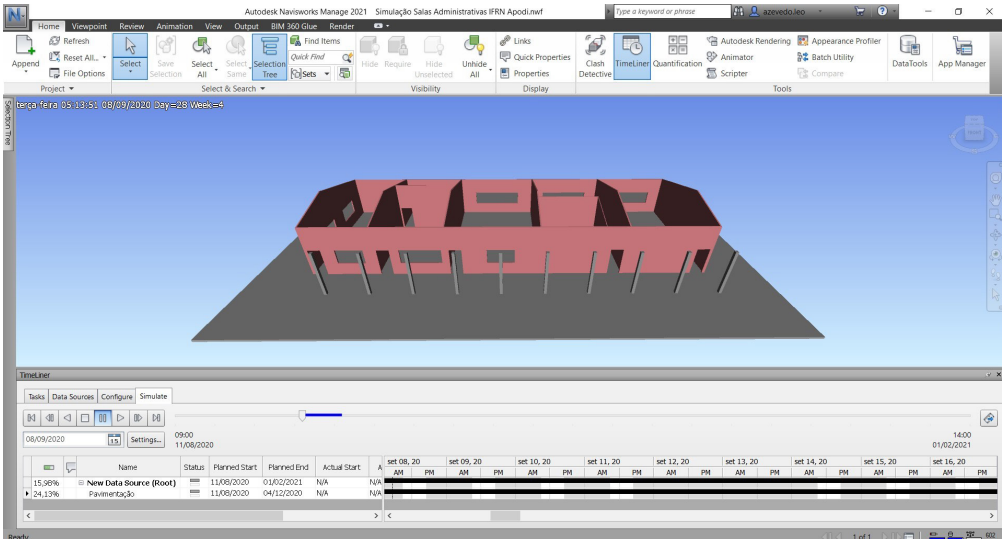


Figura 3
Simulação 4D da reforma do *campus* Apodi.

Como pontos fortes do atual fluxo a serem considerados para sua reformulação, estão a divisão por cores, orientada pelos *softwares* utilizados, e os pontos de decisões críticas, que encaminham para a etapa seguinte ou para refazer etapas anteriores.

3.3. Reformulação

Finalizada a etapa de avaliação, o grupo reuniu as necessidades de alteração do fluxo para construir um novo workflow para o BIM 4D. O novo fluxo inclui uma reorganização visual das tarefas para torná-lo mais intuitivo, separando por cores e por colunas atividades realizadas em um mesmo software (figura 4). O fluxo foi produzido com auxílio do *software* Draw.io.

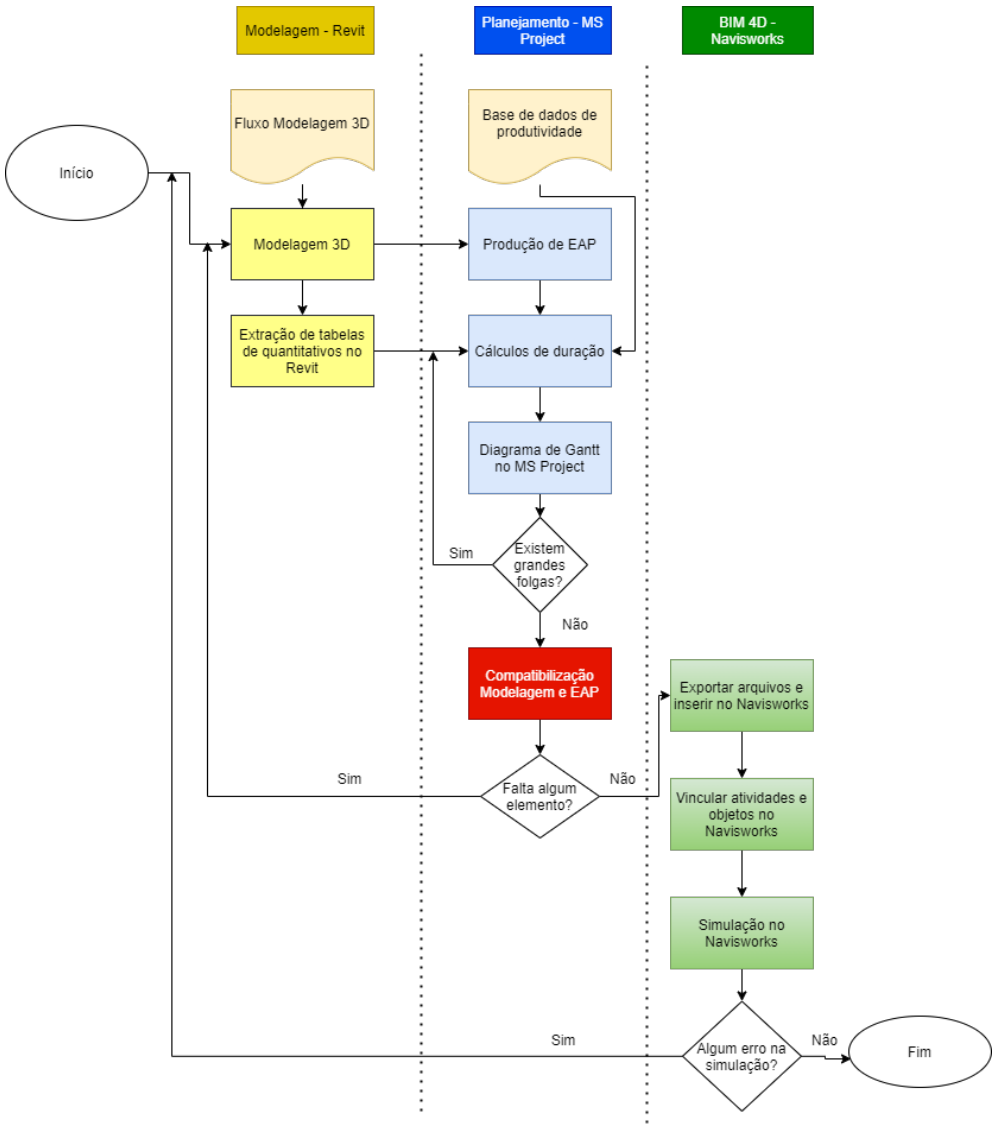


Figura 4
Novo fluxo para BIM 4D do GIP.

A área amarela é onde se localizam todas as etapas referentes ao uso do Revit – modelagem 3D e extração de tabelas de quantitativos. Essas etapas foram realocadas para o início porque nortearão todo o projeto 4D. A conclusão dessa macroetapa encaminha para a seção azul, que é feita no Microsoft Project. Nesta etapa, são produzidas a EAP, os cálculos de duração dos serviços e o próprio diagrama de Gantt. Ao final dessas tarefas, o fluxo encaminha para um ponto crítico de decisão, que é a existência ou não de grandes folgas no cronograma. Se sim, o indivíduo é encaminhado novamente para o início da macroetapa azul. Se não, o usuário é encaminhado para a etapa de compatibilização das modelagens com a EAP.

Na etapa de compatibilização, é feita uma checagem, que pode ser feita por meio de uma lista simples, para verificar se todos os elementos da EAP estão presentes no modelo 3D e vice-versa. Esta fase pretende sanar o problema da ausência de alguns elementos em ambas as partes do processo.

Por fim, o fluxograma chega na macroetapa verde, onde todos os serviços serão realizados no Navisworks. Esta é a etapa que também define o projeto como sendo BIM 4D. Nela, os arquivos serão exportados do MS Project e do Revit e inseridos no software Navisworks, onde todos os elementos serão vinculados entre si, para a realização da simulação. Com isso, o workflow encaminha para a última etapa crítica, que é a de verificação de erros na simulação. Se eles existirem, o profissional deve retornar ao início do fluxo e identificar a matriz desse erro. Se a simulação obteve êxito, o indivíduo chega ao final do processo.

4. Conclusão

O presente artigo expôs o trabalho desenvolvido por um projeto de iniciação científica, realizado no Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos (GIP) acerca de temas voltados ao BIM 4D, mais especificamente à produção de fluxos de trabalho que auxiliem profissionais e ajude a expandir essa metodologia no Brasil, e até mesmo nos outros países de língua portuguesa.

Para chegar aos resultados obtidos, foram feitas revisões teóricas que auxiliaram os pesquisadores a embasar suas decisões. Também foi por meio delas que percebeu-se a necessidade de se criar e analisar *workflows* que tratem da temática BIM 4D, pois é uma metodologia que pode orientar muitos profissionais que não sabem por onde começar nessa área.

A análise do fluxo feito previamente por outros pesquisadores do GIP fez com que os autores desse artigo pudessem estudar a fundo todo o processo de produção de uma simulação 4D, por meio da prática aliada a teoria.

Como resultado, teve-se o desenvolvimento do novo fluxo, que reorganizou as tarefas de forma intuitiva e melhor sequenciada. No entanto, admite-se que seja necessário a aplicação prática do presente fluxograma, por futuros pesquisadores, para encontrar mais inconsistências e realizar correções, a fim de prosseguir com sua melhoria contínua.

Por fim, é importante evidenciar que a aplicação prática de um fluxo se mostrou eficiente no objetivo de melhorá-lo, e que, portanto, pode ser aplicado em outros processos da construção civil, desde a etapa de projeto até a obra em si. Assim, todos os procedimentos de fabricação de uma edificação podem ser otimizados, economizando tempo, dinheiro e recursos naturais.

Agradecimentos

Ao CNPq, PROPI e DIPEQ pelo apoio recebido.

Referências

[1] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders." *Automation in Construction*, vol. 18, pp. 357-375, May, 2009. doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003

[2] T. Hartmann, J. Gao, M. Fischer, "Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, n. 10, pp. 776-785, October, 2008. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2008)134:10(776)

[3] M. L. A. E. Borges, "Método para a implementação da modelagem BIM 4D em empresas construtoras," Dissertação de Mestrado, Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, Brasil, 2020.

[4] A. Dresch, D. P. Lacerda, J. A. V. Antunes Jr., *Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia*. Porto Alegre, RS: Bookman, 2015.

Análise do quantitativo extraído via método convencional e tecnologia BIM para os revestimentos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.8

Gustavo Macedo Miranda[1], **Danielle Meireles de Oliveira**[2], **Marys Lene Braga Almeida**[3], **Sidnea Eliane Campos Ribeiro**[4]

[1] *Instituto Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,* https://orcid.org/0000-0001-7145-0373

[2] *Instituto Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,* https://orcid.org/0000-0003-4379-5096

[3] *Instituto Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,* https://orcid.org/0000-0002-2061-1613

[4] *Instituto Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte,* https://orcid.org/0000-0001-7875-9314

Resumo

Na construção civil, a tecnologia *Building Information Modellin*g (BIM) permitiu que as disciplinas que compõem os projetos de construção, antes feitas de forma totalmente separada, passassem a ser projetadas de forma integrada em uma mesma ferramenta e, a partir disso, permitiu que se obtivesse retornos instantâneos para a melhoria dos projetos, maior agilidade e assertividade nos orçamentos. Dentro deste contexto, o presente estudo avaliou os impactos e destaques da ferramenta BIM na extração de quantitativos e elaboração do orçamento da obra por meio da modelagem de um empreendimento de pequeno porte, confrontando os dados obtidos com aqueles extraídos via ferramenta 2D. Realizou-se também um diagnóstico das maiores dispersões no custo na comparação das ferramentas para o agrupamento dos revestimentos, classificado entre os blocos de serviços mais impactantes no orçamento da edificação. Por meio da análise comparativa dos quantitativos extraídos por cada método, notou-se o destaque do subgrupo "reboco externo" que apresentou a maior dispersão e também o maior impacto no custo. Além disso, verificou-se os diferenciais da ferramenta 3D na concepção do orçamento, com destaque para a facilitação do processo de modelagem por meio das várias visualizações, a agilidade na extração dos quantitativos e a redução da ocorrência de erros no processo.

1. Introdução

A tecnologia *Building Information Modelling* (BIM) é descrita como uma ferramenta com grande potencial de otimização e assertividade do processo de orçamentação. A modelagem de informações na construção possibilita que a edificação seja "construída" virtualmente, antes do início da sua execução, viabilizando, assim, a realização de diversas análises e simulações à priori [1].

A utilização da ferramenta BIM tem se destacado no cenário atual da Construção Civil, uma vez que garante vários benefícios que vão da concepção dos projetos à fase de execução e no pós obra. Ela permite, por exemplo, a visualização 3D da construção, comunicação direta entre os projetistas e a verificação da compatibilidade entre os projetos. A extração de valores a partir da tecnologia BIM minimiza o tempo para tal, uma vez que os valores são obtidos e atualizados com facilidade conforme as alterações do projeto e exigindo quase nenhuma intervenção humana, ou seja, reduzindo consideravelmente os erros [2].

Além disso, com o mercado cada vez mais competitivo de um modo geral, assim como no setor da construção civil, faz-se necessário ter uma boa gestão do orçamento de obra para garantir a sobrevivência das empresas deste setor. Então, torna-se importante estimar de maneira cada vez mais precisa os quantitativos e os custos, a fim de se obter valores cada vez mais realistas [3].

Ainda, de acordo com Viana [3], esse processo de estimativa de custos deve ser realizado não só com uma maior precisão, mas em muitos casos de maneira rápida, pois o mercado normalmente não dispõe de meses para a execução de uma obra assim como para a elaboração de um orçamento. Portanto, a tecnologia BIM tem muito a contribuir, pois auxilia o profissional orçamentista na extração dos quantitativos e na elaboração do orçamento, garantindo maior agilidade, assertividade e confiabilidade.

Neste contexto, este estudo visa comparar os maiores impactos no custo pela análise dos quantitativos para orçamentos de obras, extraídos via método convencional – a partir do uso de ferramenta 2D – e por meio da tecnologia BIM para o grupo dos revestimentos de um edifício residencial de pequeno porte. Com isso, analisa a diferença dessa relação e compara a assertividade de cada método, evidenciando as dispersões e impactos no custo.

2. *Building Information Modelling*

O uso de ferramentas BIM tende a implicar em grandes mudanças no processo de desenvolvimento de projetos. Ao permitir a modelagem geométrica tridimensional, a ferramenta abre portas para a visualização do modelo sob diversos ângulos, fornece cortes e elevações de múltiplas localizações, facilita a interpretação de memoriais descritivos, fornece cálculos mais precisos [4].

Eastman *et al.* [5] destacam que o BIM possibilita a integração das ideias incentivando a colaboração além daquela envolvida nos desenhos e, como consequência, redistribui o tempo e esforços gastos pelos projetistas nas diferentes fases do projeto. Nesse sentido, Campestrini *et al.* [6] também fazem menção aos tipos de modelos BIM 3D, 4D, 5D, 6D, nD. Para cada dimensão, há certas informações que podem ser extraídas. De um modelo 3D, por exemplo, consegue-se o quantitativo e especificações de materiais, no 4D, é possível de se obter questões de prazo e cronograma e no 5D, consegue-se extrair informações atreladas aos custos. É válido notar que, com o aumento da dimensão de análise do modelo, cresce também o seu nível de complexidade assim como o número de dados que se consegue obter.

Além disso, é válido mencionar outros benefícios do seu uso como a interoperabilidade – caracterizada pela facilitação que múltiplos indivíduos e aplicações atuem no projeto –, a colaboração, a redução de erros pelo uso da detecção de interferências, o estudo da viabilidade do empreendimento a partir de modelos aproximados, a compatibilização dos diferentes projetos (como Arquitetura, Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico), redução do desperdício, dentre muitos outros [5, 6].

2.1. Orçamentação e levantamento de quantitativos

Mattos [7] afirma que um dos fatores primordiais para se ter um resultado lucrativo e de sucesso, é ter um orçamento eficiente, principalmente, quando se pretende participar de concorrências públicas ou privadas. Cita que um orçamento de baixa qualidade tem altas chances de levar a problemas de custo e prazo. O autor acrescenta que o custo total de uma obra é igual ao custo de cada um dos serviços que a integram e, por mais cuidado que se tenha ao fazer um orçamento, ele não é completo caso exclua algum serviço. Ainda, afirma que o levantamento de quantitativos é uma das principais tarefas do orçamentista, caso o projetista não o tenha feito.

Em seu estudo, Carvalho *et al.* [8] apontam que 90% dos profissionais orçamentistas utilizam planilhas eletrônicas pelo menos de forma complementar ao processo de orçamentação e apenas cerca de 23% utilizam ferramentas BIM no processo. Além disso, os autores avaliam que mais de 40% das vezes não ocorre uma retroalimentação no processo de orçamentação, isto é, os desvios no orçamento e as causas dos desvios não são informados aos profissionais como forma de aprimoramento.

Por sua vez, Eastman *et al.* [5] atestam que todas as ferramentas BIM fornecem recursos para a extração de quantitativos de componentes, áreas e volumes de espaços, quantidades de materiais e esses dados são adequados para se ter estimativas aproximadas de custo. Os autores ressaltam que a extração das quantidades não substitui o processo de orçamentação em si, mas que os orçamentistas devem considerar o uso da tecnologia BIM para facilitar a trabalhosa tarefa de levantamento de quantitativos e também para poder visualizar e avaliar de forma rápida e otimizar preços.

Os autores [5] também citam três métodos principais que os orçamentistas podem utilizar no processo de orçamentação, uma vez que nenhuma ferramenta BIM tem

todas as funcionalidades de uma planilha eletrônica, são eles: exportar quantitativos de objetos da edificação para um *software* de orçamentação, conectar a ferramenta BIM diretamente ao *software* de orçamentação, usar uma ferramenta BIM de levantamento de quantitativos.

3. Metodologia

Para desenvolver este trabalho, adotou-se a modelagem como ferramenta metodológica. O caso em estudo diz respeito ao comparativo de custos do orçamento obtido via BIM e via método convencional de uma edificação de pequeno porte (158 metros quadrados) concebida em concreto armado, localizada na região Nordeste do estado de Minas Gerais (Brasil).

Na Figura 1 estão apresentados o primeiro e o segundo pavimentos da edificação, em planta, conforme o projeto executivo fornecido pela empresa.

Como ferramentas, foram utilizados o *software* Revit tanto para a modelagem quanto para a extração dos quantitativos do modelo e em seguida o *software* Excel para auxiliar na organização dos dados e desenvolvimento das análises. O orçamento utilizado como base de comparação foi fornecido pela empresa e foi feito com base na extração pelo AutoCAD.

É válido sublinhar que a empresa utilizou as ferramentas de medir do próprio AutoCAD para aferir perímetro e área, já os cálculos de volume foram feitos manualmente. Por sua vez, a modelagem em Revit foi realizada de forma que todas as informações de quantitativos pudessem ser extraídas das tabelas fornecidas pelo *software*, sem a necessidade de cálculos manuais. Os elementos modelados (Figura 2) foram estritamente os que estão contidos no orçamento fornecido pela empresa, de forma que a base de comparação fosse a mesma e que os resultados fossem assertivos. Ainda, na modelagem, buscou-se uma representação realística dos elementos, por exemplo, os revestimentos de piso e pintura não excederam os limites dos elementos de alvenaria, também com o intuito de obter resultados mais precisos.

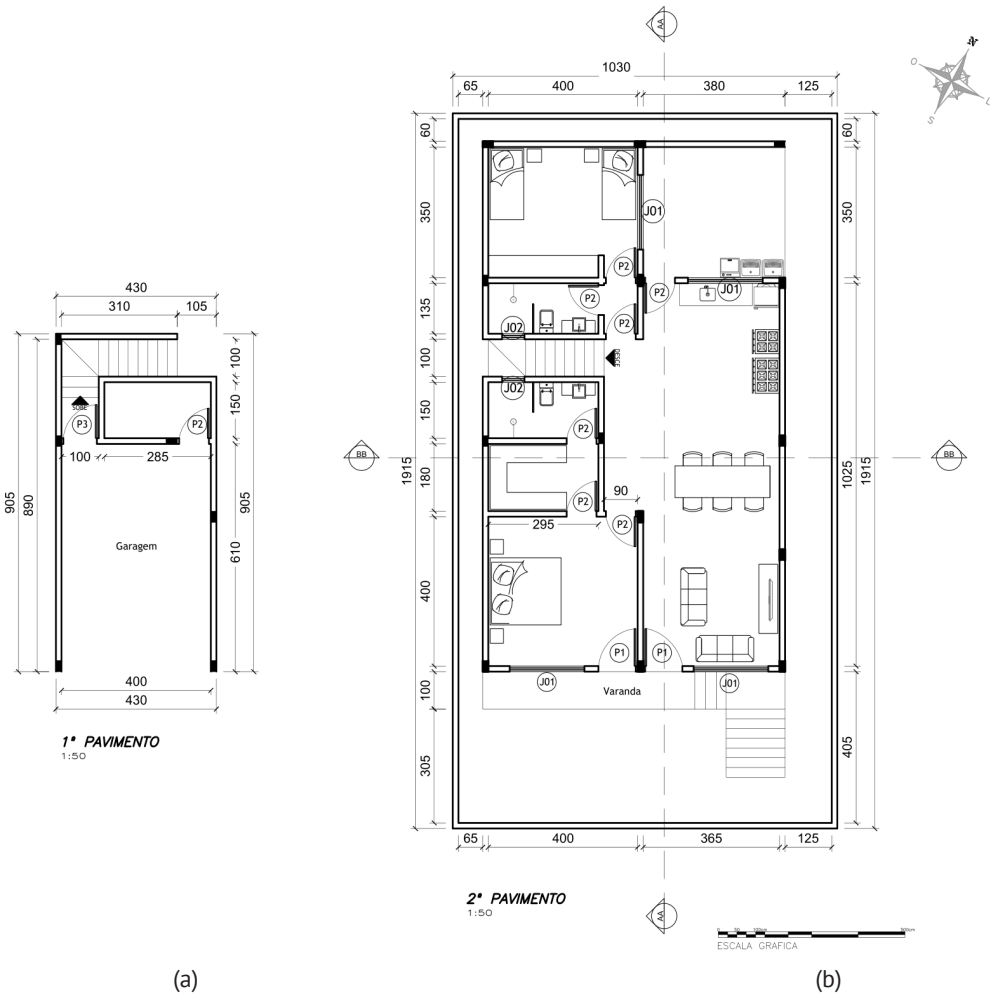


Figura 1
Planta da edificação. (a) Primeiro pavimento; (b) Segundo pavimento.

Fonte: Fornecida pela empresa (2020).

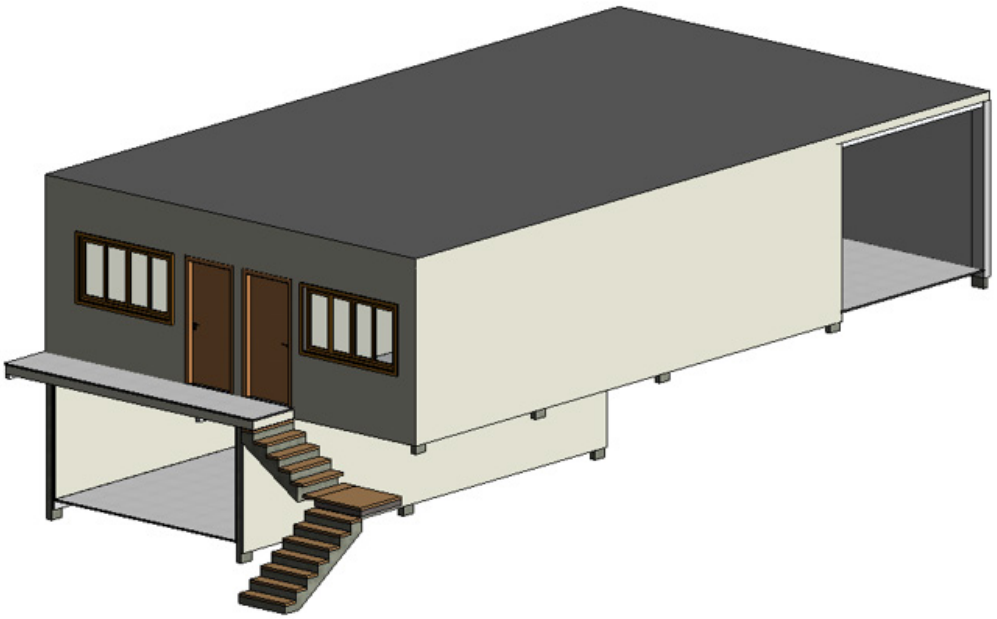


Figura 2
Modelagem arquitetónica em perspetiva 3D.

Fonte: Autor.

4. Resultados e discussão

Neste tópico, foi analisado o agrupamento dos revestimentos da edificação supracitada. Ele é composto por dois grupos:

- revestimentos de argamassa: contrapiso, chapisco, emboço e reboco externos e internos; e
- pintura e revestimento cerâmico: emassamento, cerâmica interna, pintura interna e externa e porcelanato.

É válido sublinhar que o agrupamento dos revestimentos representa uma parcela significativa do orçamento total da obra e possui o maior peso (27,4%), como é mostrado na Figura 3. Na Figura está representado o Diagrama de Pareto em que as barras esboçam o custo proporcional de todos os agrupamentos que compõem o projeto (em mil reais) e a linha representa o peso acumulado de cada um, por exemplo, 80,9% dos custos da obra correspondem aos agrupamentos: revestimentos, supraestrutura, hidrossanitário e elétrico, alvenarias, esquadrias e infraestrutura.

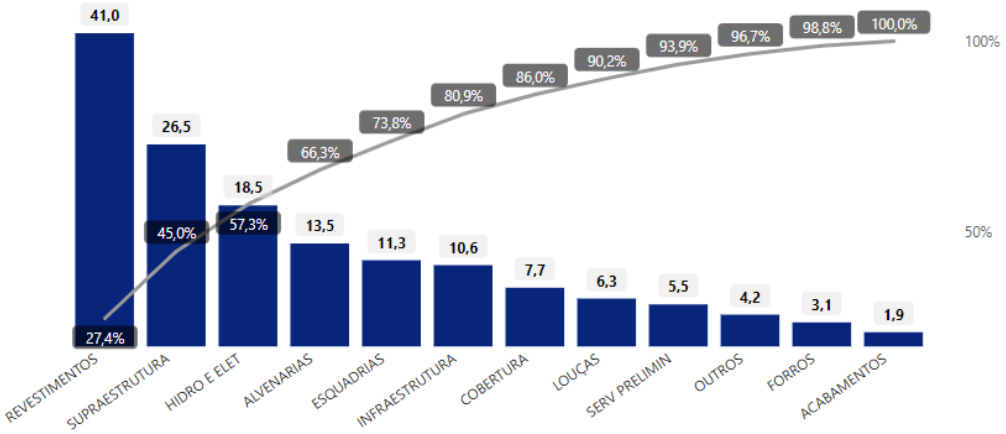


Figura 3
Diagrama de Pareto dos agrupamentos.

Fonte: Autor.

4.1. Revestimentos de argamassa

Os revestimentos de argamassa incluem o contrapiso, o chapisco, o emboço e o reboco tanto internos quanto externos, sendo todos medidos em unidades de área (metros quadrados, m²). Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para cada um. Para facilitar a visualização dos resultados, a diferença entre as quantidades e entre os valores (R$) obtidos em cada método encontra-se sinalizada em vermelho, caso o que foi obtido no Revit seja inferior ao do AutoCAD e, em verde, caso contrário.

Nota-se pela Tabela 1 que o chapisco, o emboço e o reboco externos apresentaram uma redução nos quantitativos de 50,28% na extração via BIM com relação à convencional, no AutoCAD. Da mesma forma, os outros três componentes internos apresentaram igual aumento nos quantitativos, de 4,18%. Já a maior dispersão no orçamento refere-se à redução de R$2.559,52 no valor planejado para o reboco externo.

Na Figura 4 é possível notar que o maior peso, em módulo, sobre a divergência total no custo foi devido também ao reboco externo, representando pouco mais de 46%.

Tabela 1
Desvios de quantitativos: revestimentos de argamassas.

Fonte: Autor.

	Qtde CAD	Qtde Revit	Custo CAD (R$)	Custo Revit (R$)
1.1 Argamassa				
1.1.1 Chapisco int (m²)	299,45	311,96	1.587,09	1.653,39
Diferença		*4,18%*		*66,30*
1.1.2 Chapisco ext (m²)	299,45	148,89	1.317,58	655,12
Diferença		*-50,28%*		*-662,46*
1.1.3 Emboço int (m²)	299,45	311,96	4.731,31	4.928,97
Diferença		*4,18%*		*197,66*
1.1.4 Emboço ext (m²)	299,45	148,89	2.754,94	1.369,79
Diferença		*-50,28%*		*-1.385,15*
1.1.5 Reboco int (m²)	299,45	311,96	5.090,65	5.303,32
Diferença		*4,18%*		*212,67*
1.1.6 Reboco ext (m²)	299,45	148,89	5.090,65	2.531,13
Diferença		*-50,28%*		*-2.559,52*
1.1.7 Contrapiso (m²)	158,15	137,16	3.060,20	2.654,05
Diferença		*-13,27%*		*-406,16*

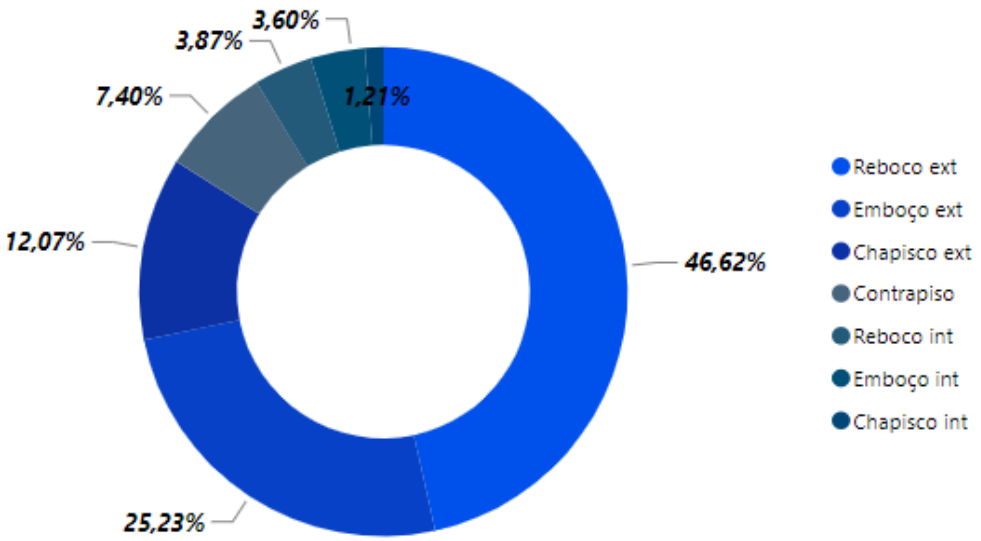


Figura 4
Impacto no custo para os revestimentos da argamassa.

Fonte: Autor.

4.2. Revestimentos de pintura e cerâmico

O emassamento, a cerâmica interna, as pinturas externa e interna e o porcelanato fazem parte dos revestimentos de pintura e cerâmico sendo todos também medidos em unidades de área (m²). Na Tabela 2 são apresentados os resultados, em que se pode observar que a pintura externa apresentou uma redução nos quantitativos de 50,28% na análise via BIM com relação à feita no AutoCAD. Ainda, é válido destacar que para a cerâmica interna, houve um aumento nas medidas de mais de 30%.

Avaliando o impacto direto no custo, a maior dispersão no orçamento ocorreu para o porcelanato e refere-se à uma redução de R$1566,06 do valor planejado via AutoCAD. Essa dispersão no custo equivale a cerca de 46% das dispersões, em módulo, como pode ser observado na Figura 5. A pintura externa possui o segundo maior peso.

	Qtde CAD	Qtde Revit	Custo CAD (R$)	Custo Revit (R$)
1.2 Pintura e cerâmico				
1.2.1 Emassamento (m²)	598,90	460,85	1.197,80	921,70
Diferença		*-23,05%*		*-276,10*
1.2.2 Cerâmica int (m²)	34,50	45,40	1.369,65	1.802,38
Diferença		*31,59%*		*432,73*
1.2.3 Pintura int (m²)	299,45	266,56	1.856,59	1.652,67
Diferença		*-10,98%*		*-203,92*
1.2.4 Pintura ext (m²)	299,45	148,89	1.856,59	923,12
Diferença		*-50,28%*		*-933,47*
1.2.5 Porcelanato (m²)	158,15	137,16	11.799,57	10.233,51
Diferença		*-13,27%*		*-1.566,06*

Tabela 2
Desvios de quantitativos: revestimentos de pintura e cerâmico.

Fonte: Autor.

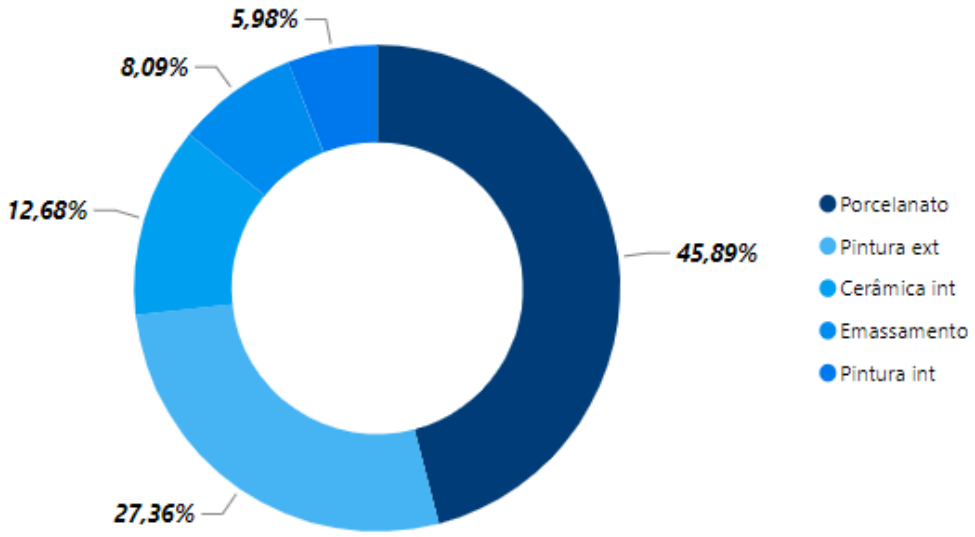


Figura 5
Impacto no custo para os revestimentos de pintura e cerâmico.

Fonte: Autor.

4.3. Análise global para os revestimentos

Além da análise específica para os tipos de revestimento, foi feita também uma análise global das dispersões e impactos no custo a fim de identificar os subgrupos que se destacam e que possuem maior tendência a afetar o orçamento dos revestimentos como um todo.

Pela interpretação da Figura 6, que representa o impacto da dispersão no custo para todos os subgrupos, em módulo, observa-se claramente que alguns se sobressaem

como o reboco externo (28,8%), o porcelanato (17,6%) e o emboço externo (15,6%). Por outro lado, há aqueles com menor peso, como o chapisco interno (0,7%).

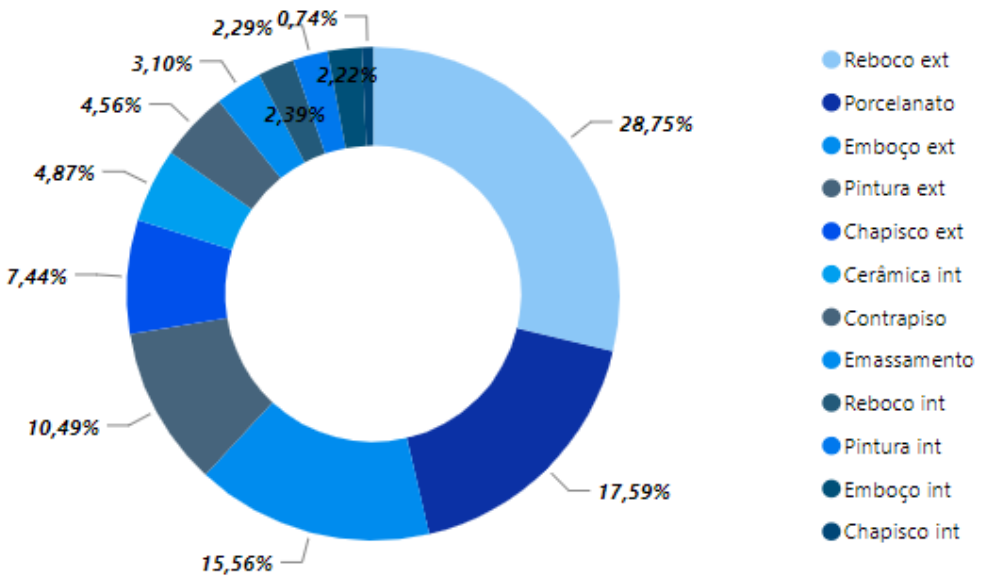


Figura 6
Impacto no custo para os revestimentos geral.

Fonte: Autor.

Ainda, com o intuito de avaliar ambas as variáveis – dispersão e impacto no custo – em conjunto, esboçou-se a Tabela 3 utilizando a formatação "escala de cores" no *software* Excel. A partir dessa formatação, as cores de cada célula das tabelas se distribuem de acordo com os dados, neste caso, as células com menores valores apresentam uma cor mais clara sendo que as células em cor mais escura, representam os maiores valores. A intenção foi facilitar as inferências na análise das duas colunas em conjunto, principalmente.

Pela análise da Tabela 3, é notório o destaque do subgrupo reboco externo representando o maior impacto – em tom mais escuro – em ambas as colunas da Tabela. Por sua vez, o chapisco interno apresentou tanto a menor dispersão como menor impacto no custo – em cor mais clara. É válido destacar o subgrupo do porcelanato, que apesar de não representar as maiores divergências, é o segundo grupo com maior impacto no custo.

	Divergência	Impacto no custo
Chapisco int	4,18%	0,74%
Chapisco ext	50,28%	7,44%
Emboço int	4,18%	2,22%
Emboço ext	50,28%	15,56%
Reboco int	4,18%	2,39%
Reboco ext	50,28%	28,75%
Contrapiso	13,27%	3,10%
Emassamento	23,05%	4,56%
Cerâmica int	31,59%	4,86%
Pintura int	10,98%	2,29%
Pintura ext	50,28%	10,49%
Porcelanato	13,27%	17,59%

Tabela 3
Análise conjunta da divergência e do impacto no custo.

Fonte: Autor.

Considerando-se a diferença entre a soma dos custos totais obtidos via AutoCAD com os extraídos pelo Revit para os revestimentos, tem-se uma diferença no custo de R$7.083,49 que representa uma economia de cerca de 17%, como pode ser observado na Tabela 4.

	Custo CAD (R$)	Custo Revit (R$)
Custo total	41.712,62	34.629,13
Diferença		*-7.083,49*

Tabela 4
Diferença. geral para os revestimentos

Fonte: Autor.

Ainda, apesar de terem utilizado uma metodologia e foco diferentes em sua pesquisa, Barlish *et al.* [9] também encontraram uma redução de custo em seu estudo ao comparar a tecnologia BIM frente à outros métodos, considerado por eles como "não-BIM". Os autores citam que o sucesso do BIM depende de muitos fatores como o tamanho do projeto, a proficiência e a comunicação da equipe dentre outros fatores externos.

5. Conclusões

Diante das análises dos resultados feitas nos tópicos anteriores, percebe-se que houve uma diferença considerável entre os quantitativos obtidos pelo método convencional, no AutoCAD, quando comparados aos obtidos por meio do Revit para os revestimentos.

A maior redução, comparando ambos os *softwares*, ocorreu em pelo menos quatro subgrupos do agrupamento dos revestimentos externos e chegou a 50,28%. Já considerando os casos nos quais o valor obtido pelo AutoCAD mostrou-se inferior ao do Revit, a maior diferença encontrada ocorreu para o revestimento cerâmico interno (31,59%). Os maiores impactos no custo pelas divergências são devidos ao subgrupo reboco externo seguido pelo porcelanato.

Além disso, com base na Tabela 1 e Tabela 2 do tópico 4, pode-se observar que foi encontrada pela empresa projetista, no AutoCAD, a mesma área para as partes interna e externa dos subgrupos: chapisco, emboço, reboco e pintura. Todavia, na comparação com os dados extraídos pelo Revit, notou-se que houve divergências negativas para os revestimentos externos e positivas para os internos, isso pode ter ocorrido devido ao provável equívoco cometido pela empresa ao considerar a mesma área para ambas as regiões, externas e internas.

Por fim, ter maior precisão no processo de extração de quantitativos e na orçamentação pode garantir o destaque necessário para uma dada empresa elaborar uma proposta mais competitiva e se destacar, o que é facilitado pelas ferramentas 3D. É pertinente que se tenha cuidado com a extração dos quantitativos principalmente em subgrupos mais sensíveis, em que pequenas variações implicam em grandes impactos no custo, como o subgrupo dos porcelanatos.

Referências

[1] A. P. L. Santos; C. E. Antunes; G. B. Balbinot. "Levantamento de Quantitativos de Obras: Comparação entre o Método Tradicional e Experimentos em tecnologia". *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Florianópolis, Brasil, 2014.

[2] M. M. Sakamori; S. Scheer, "Processo de extração de quantitativos de um modelo BIM 5D". In: Congresso técnico científico da engenharia e da agronomia. Foz do Iguaçu, Brasil, 2016.

[3] L. Viana. "Comparativo de custos dos sistemas construtivos wood frame e concreto armado para edifício utilizando BIM 5D". 2020. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2020.

[4] J. V. B. Protázio; R. M. Rêgo. "Estudo e avaliação de tecnologias bim para projetação em arquitetura, engenharia e construção". IFPE, Recife, Pernambuco, Dez. 2012.

[5] C. M. Eastman; P. Teicholz; R. Sacks; K. Liston. "Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores". Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho *et al.*; revisão técnica: Eduardo Toledo Santos. Porto Alegre: Bookman, 2014 p.

[6] T. F. Campestrini, *et al.* "Entendendo BIM". Curitiba, Paraná, Brasil: 2015.

[7] A. D. Mattos, "Como preparar orçamentos de obras". 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

[8] M. S. de Carvalho.; J. C. M. Pimentel. "Diagnóstico do processo de orçamento de obras no contexto brasileiro". In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, 12., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. Pp. 1-8. Disponível

em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sibragec/article/view/642. Acesso em: 28 nov. 2021.

[9] K. Barlish.; K. Sullivan. "How to measure the benefits of BIM – A case study approach". Automation in Construction, Vol 24. Arizona State University, United States, Jul. 2012.

BIM na gestão de projetos de construção: barreiras e orientações para os gestores de projetos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.9

Gabriela Fernandes[1], **João Pedro Couto**[2]

[1] *Universidade do Minho, Guimarães,*
https://orcid.org/0000-0002-7229-2626

[2] *Universidade do Minho, Guimarães,*
https://orcid.org/0000-0001-9607-0596

Resumo

O presente artigo foi desenvolvido com base em parte de uma dissertação de mestrado em gestão de projetos e tem como foco principal analisar os impactos e desafios da utilização do BIM para os gestores de projeto na Construção na zona Norte de Portugal, e ainda propor um conjunto de orientações para facilitar a introdução dessa metodologia nas organizações.

No intuito de alcançar os objetivos, além da revisão crítica da literatura, foi realizado um inquérito a um conjunto de organizações pertencentes à zona em estudo. Os resultados obtidos sobre as barreiras foram analisados recorrendo à utilização do Índice de Importância Relativa.

Verificou-se que as barreiras mais importantes estão relacionadas com os investimentos iniciais necessários para a implementação da metodologia, com o pouco nível de exigência por parte dos diferentes intervenientes e a também com a resistência à mudança.

Com efeito, foram propostas diversas orientações com destaque para a consciencialização e capacitação das partes interessadas na metodologia BIM. Foi também enfatizado o papel e as ações do gestor de projetos por ser um interveniente fundamental no apoio à mudança do cenário atual de implementação e generalização do BIM e na amenização das suas barreiras.

1. Introdução

Apesar de existirem vários benefícios com a adoção do BIM, a sua utilização ainda não é generalizada e constata-se que existem diversos problemas e barreiras para a efetiva utilização dessa metodologia [1]. O BIM é uma nova metodologia para indústria de construção e o sucesso da sua implementação depende de vários fatores que podem gerar barreiras para sua ampla utilização [2].

Vários estudos têm estudado as barreiras e os desafios enfrentados pela indústria da construção na adoção e utilização do BIM. Dentre eles, pode ser destacado o estudo realizado por Oraee et al. [3] no qual foi desenvolvido um modelo conceitual desse tipo de barreiras, englobando também os desafios mencionados por outros autores.

Apesar de existirem barreiras comuns em várias localidades, é importante dar atenção às particularidades de cada região para facilitar a adoção do BIM. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar e caracterizar as barreiras na utilização do BIM pelos gestores de projetos na cadeia de produção da construção na zona Norte de Portugal. Nesse sentindo foi aplicado um inquérito para conhecer a perspetiva dos gestores acerca dos impactos e desafios da utilização do BIM.

Os dados coletados foram analisados através do Índice de Importância Relativa (IIR), permitindo classificar as barreiras analisadas. Complementarmente é sugerido um conjunto de orientações para facilitar a introdução do BIM na gestão de projetos das organizações portuguesas, tendo em vista os desafios identificados pelos gestores de projetos.

2. Revisão da literatura

2.1. BIM e a gestão de projetos da construção

A gestão de projetos no setor da construção assente em ferramentas e processos de gestão consolidados pode contribuir para solucionar os problemas de deficiência de produtividade e ineficiente colaboração das equipes [3], que são normalmente ocasionados pelo aumento de complexidade dos projetos desse setor. Por esse motivo, o BIM tem vindo a apresentar-se como uma solução inovadora e adequada para esses problemas ao transformar os processos de trabalho de gestão e fornecendo apoio para a colaboração nos projetos.

O BIM é uma metodologia que vai além de um *software* de desenho e visualização do modelo digital, pois permite aos diferentes intervenientes criar, gerir e compartilhar informações de forma integrada durante o ciclo de vida das edificações, com maior controle e precisão ao projetar, construir e operar edifícios. Essa metodologia possui capacidade de mudar e integrar os processos de trabalho, tornando-os mais concisos e melhorando a eficiência das empresas.

De acordo com o PMI [4], o BIM é uma das tecnologias que afetam o sucesso dos projetos de Construção e a Extensão da Construção do PMBOK reconhece que a sua utilização pode contribuir para melhorar a compreensão do projeto e facilitar a comunicação e coordenação do projeto [5]. Por esse motivo, é interessante analisar a relação existente entre a metodologia BIM e a gestão de projetos, principalmente no tocante às áreas de conhecimento [6], [7], e às dimensões do BIM [8], [9], conforme pode ser observado na Figura 1.

PMBOK	BIM
Gestão da Integração	–Trabalho colaborativo –Integração de documentos e esforços
Gestão do Âmbito	–BIM 3D –Informações parametrizadas
Gestão do Cronograma	–BIM 4D
Gestão do Custo	–BIM 5D
Gestão da Qualidade	–Detecção de conflitos –Simulações
Gestão dos Recursos	–Recursos certos nos locais e momentos corretos
Gestão da Comunicação	–Proporciona um ambiente colaborativo –Facilita a troca de informações
Gestão dos Riscos	–Prever problemas com as simulações –Detecção automática de conflitos

PMBOK	BIM
Gestão das Aquisições	–Elaboração dos quantitativos –Gestão da cadeia de suprimentos
Gestão das Partes Interessadas	–Interação com o modelo –Melhor a compreensão da construção
PMBOK - Extensão da Construção	
Gestão Financeira	–Fornece os dados de entradas
Gestão Ambiental e da Integridade, Saúde, Segurança e Proteção	–BIM 6D –BIM 8D

Figura 1
Relação do BIM com a gestão de projetos – PMBOK,adaptado de Fernandes [10].

Assim, o BIM pode ser considerado como uma metodologia efetiva na gestão de projetos da construção que tem transformado a indústria da construção e todo o ciclo de vida das edificações. O setor AEC, que ainda é muito conhecido pela sua fragmentação e metodologias tradicionais, com a utilização do BIM pode melhorar as práticas de gestão de projetos, além de reforçar o trabalho colaborativo, essencial para o sucesso dos projetos. Por isso é considerada como uma mudança de paradigma que afeta todo o ciclo de vida das edificações, desde a forma de projetar à gestão da obra e até mesmo a gestão da manutenção dos edifícios [8].

2.2. Barreiras à implementação do BIM

A implementação da metodologia BIM causa muitas mudanças nos processos tradicionais e por isso enfrenta várias barreiras que dificulta uma maior disseminação dessa metodologia. Apesar dos impactos positivos, a adoção do BIM enfrenta diversos obstáculos que podem ser desde questões legais e normativas, resistência a mudanças e até mesmo a necessidade de formar os profissionais [8].

O estudo realizado por Oraee et al. [3] produziu um modelo das principais barreiras ao fortalecimento da colaboração das equipes de projeto nas redes de construção baseadas em BIM. Nele, as barreiras foram organizadas em cinco categorias e 12 subcategorias, que podem ser observadas na Figura 2. Optou-se por esse modelo por englobar um maior número de barreiras e devido à sua relevância, por ser uma base que auxilia a melhor compreensão dessas barreiras, suas inter-relações e os seus impactos.

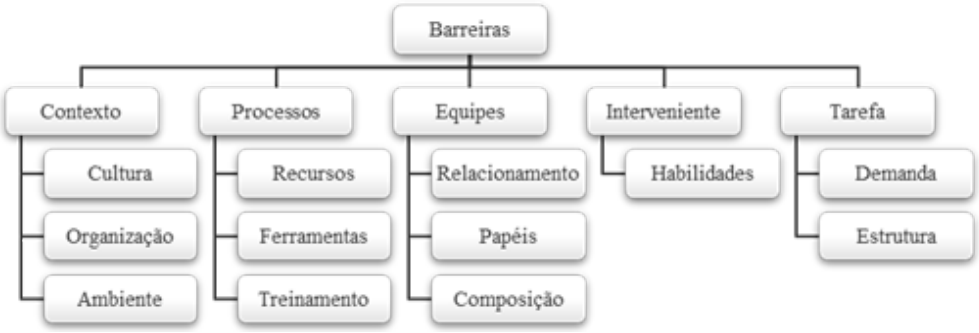


Figura 2
Modelo conceitual das barreiras a colaboração nas redes de construção baseadas no BIM, adaptado de Oraee *et al.* [3].

As barreiras de contexto estão relacionadas com o ambiente em que o projeto e as demais barreiras estão inseridos, podendo ser o contexto imediato ao projeto ou até mesmo o contexto social e industrial externo às organizações. A segunda categoria, a dos processos, engloba as ferramentas, os recursos e os treinamentos necessários para a colaboração com o BIM.

As barreiras da equipe estão relacionadas com a sua composição, com os sistemas de relacionamento e as funções ou papéis dos seus integrantes. Já a categoria do interveniente aborda as competências, habilidades e conhecimentos dos integrantes da equipe de projeto nas atividades e na colaboração necessárias para a implementação da metodologia BIM. Por fim, as barreiras de tarefa referem-se às características das tarefas como a demanda e estrutura.

3. Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma revisão crítica da literatura para a fundamentar e sustentar a investigação. Essa fase também contou com um levantamento de investigações semelhantes, que buscaram entender os impactos da utilização do BIM na gestão de projetos do setor da AEC, através de pesquisas na Internet e em base de dados como a Scopus e a Science Direct, por serem duas das mais reconhecidas bases de dados científicas internacionais. Nessas pesquisas foram utilizados termos como: BIM, barreiras, gestão de projetos, construção, Portugal.

Em seguida, foi elaborado um inquérito com o objetivo de avaliar as barreiras a implementação do BIM nas organizações do Norte de Portugal. Foi fundamental buscar conhecer a perspetiva dos inquiridos, pois apenas o levantamento bibliográfico não foi suficiente.

A definição da amostra foi realizada através de uma combinação de técnicas de amostragem não probabilística, a intencional e a bola de neve. É fundamental destacar que foi optado por essas técnicas por causa do tempo e recursos limitados, além da dificuldade de identificar os membros da população desejada. No intuito de compor a amostra, primeiro foram selecionadas as organizações do setor da construção portuguesa localizadas na região Norte e com classes de habilitações 7, 8 ou 9

e, em seguida, foram identificados os colaboradores dessas entidades com função de gestão e diretamente ligados ao BIM para serem inquiridos.

Algumas das decisões da metodologia de aplicação do inquérito foram impactadas pelas limitações da pandemia do Covid-19. Por isso foi definido o modo de aplicação do inquérito com o Google Forms, bem como a definição da forma de contato com os respondentes e de divulgação do inquérito: através de e-mail e de mensagens na rede social LinkedIn.

Para a validação do inquérito, foi realizado o teste piloto verificando a sua lógica e se as perguntas e opções de respostas são de fácil compreensão. Apesar de ser um processo que necessitou de um certo tempo, foi fundamental para a melhoria e validação do inquérito. Após essa etapa, foi iniciada a aplicação do inquérito à amostra composta por 21 colaboradores de organizações do setor da Construção no Norte de Portugal, com funções de gestão diretamente ligados ao BIM.

Em seguida, realizou-se a análise e discussão dos resultados. Os dados coletados para a caracterização dos respondentes e sobre o BIM na gestão de projetos nas organizações do Norte de Portugal foram examinados através de análise descritiva. Em seguida, foi feita uma análise mais abrangente de algumas questões de forma integrada, que possibilitasse perceber correlações entre alguns dos fatores inquiridos.

Os dados recolhidos sobre as barreiras à implementação do BIM no setor da construção na zona Norte de Portugal foram analisados através do Índice de Importância Relativa (IIR) com base na seguinte equação (1), onde IIR = Índice de Importância Relativa, Pi = Valor das repostas, Ui = Número de respondentes com o mesmo valor das respostas, N = Tamanho da Amostra e n = Maior valor das respostas.

$$IIR = \frac{\sum Pi \cdot Ui}{N \cdot n} \tag{1}$$

Por fim, foram desenvolvidas orientações para facilitar a introdução do BIM na Gestão de Projetos das organizações do Norte de Portugal, tendo em vista amenizar os impactos nos intervenientes da utilização do BIM na gestão de projetos da Construção.

4. Análises dos resultados

O inquérito recolheu 13 respostas, dos 21 que aceitaram participar do estudo, representando aproximadamente 62% da amostra. É discutível considerar que o número de respondentes seja representativo do universo em estudo. No entanto, o número de respostas foi considerado significativo perante o número de inquéritos enviados, o período de implementação, e todo um conjunto de dificuldades inerentes ao contexto pandémico.

4.1. Barreiras à implementação do BIM

Inicialmente, foi possível traçar o perfil dos respondentes através das questões referentes à função, a experiência na indústria da construção e a experiência com a metodologia BIM, no qual, o resultado está presente na Figura 3. Assim, foi observado que a maioria dos respondentes eram engenheiros com funções de gestão. Também foi possível identificar o tempo de experiência dos respondentes na indústria da construção, no qual cerca de 53% dos respondentes possuem mais de 15 anos de experiência na construção.

Adicionalmente, o inquérito buscou conhecer o tempo de experiência na utilização da metodologia BIM. Foi interessante observar que mais da metade dos inquiridos (61.5%) não possuem experiência com o BIM. Do conjunto total das respostas, 38,5% afirmaram não possuir experiência porque as organizações em que trabalham ainda estão em processo de implementação e 23,1% organizações ainda não iniciaram esse processo até o momento.

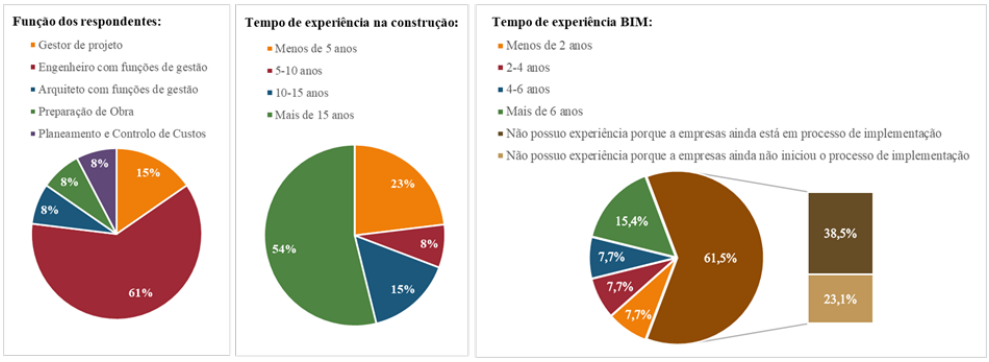


Figura 3
Gráficos de caracterização dos respondentes, adaptado de Fernandes [10].

4.2. Avaliação das barreiras à utilização do BIM na gestão de projetos

Para a realização do inquérito foi feito um levantamento das 15 barreiras à utilização do BIM na gestão de projetos mais presentes na bibliografia e foi solicitado aos respondentes para indicar a relevância das barreiras utilizando uma escala de Likert de 5 pontos que permitiu calcular o IIR de cada uma das barreiras individualmente possibilitando compor a Tabela 1, que ilustra a classificação dessas barreiras, de acordo com o IIR. Assim, das quinze barreiras analisadas, a importância relativa variou do mais baixo (IIR=0,569) relativo à "Dificuldade de utilização das funcionalidades dos softwares BIM" até ao mais alto (IIR=0,862) referente ao "Elevado investimento em *softwares* e *hardwares*".

Tabela 1
Classificação das barreiras à utilização do BIM no Norte de Portugal.

Classificação	Barreiras	IIR	Média
1	Elevado investimento em softwares e hardwares	0,86	4,31
2	Elevado investimento nos treinamentos para metodologia BIM	0,80	4,00
3	A não exigência da utilização da metodologia BIM, por parte de clientes, parceiros ou órgãos reguladores	0,78	3,92
4	Resistência à mudança por parte dos intervenientes	0,71	3,54
4	Tendência para manter o ambiente tradicional da indústria da construção	0,71	3,54
6	Falta de diretrizes e padrões claros específicos para o BIM	0,69	3,46
7	Diferentes entendimentos do conceito e dos requisitos da colaboração com o BIM	0,68	3,38
8	Falta de contratos claros e transparentes apropriados à metodologia BIM	0,66	3,31
9	Treinamentos ineficientes para metodologia BIM	0,65	3,23
9	Tendência para manter a estrutura tradicional das equipes de projetos da construção	0,65	3,23
11	Novas funções ainda não bem definidas	0,60	3,00
12	Tendência para inexistência do trabalho colaborativo na equipe de projeto	0,58	2,92
12	Falta de habilidade para trabalhar com a metodologia BIM	0,58	2,92
12	Resistência de compartilhar dados e informações	0,58	2,92
15	Dificuldade de utilização das funcionalidades dos softwares BIM	0,57	2,85

É interessante observar que o elevado investimento necessário para a utilização da metodologia BIM, tanto nos softwares e hardwares quanto nos treinamentos, é a maior barreira a ser superada na sua implementação. Esse ponto também foi apontado em um dos comentários recebidos nas respostas do inquérito, o qual destacava a necessidade de consciencializar os donos de obras sobre a utilização do BIM, para demonstrar que esse investimento provoca retornos.

A presença da barreira dos elevados investimentos em estudos sobre a situação do BIM em Portugal reforça ainda mais a sua importância. Essa barreira também foi identificada por Venâncio [9] como um dos principais motivos do nível reduzido da implementação da metodologia BIM nas empresas da construção. Já a Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção [11] apontou as restrições orçamentais como o principal obstáculo ao BIM.

Além da classificação geral das barreiras, foi realizada uma análise comparativa da classificação das barreiras entre dois grupos dos respondentes, conforme pode ser observado na Tabela 2. O primeiro, composto pelas oito organizações que têm a metodologia BIM implementada e as cinco que não têm, de acordo com a resposta dos respondentes no inquérito.

Tabela 2
Classificação das barreiras à utilização do BIM no Norte de Portugal de acordo com os respondentes de organizações que tem ou não tem o BIM implementado.

Barreiras	Organização com BIM implementado			Organização sem BIM implementado		
	Classificação	IIR	Média	Classificação	IIR	Média
Elevado investimento em *softwares* e *hardwares*	2	0,88	4,38	1	0,84	4,20
Elevado investimento nos treinamentos para metodologia BIM	4	0,80	4,00	2	0,80	4,00
A não exigência da utilização da metodologia BIM, por parte de clientes, parceiros ou órgãos reguladores	1	0,90	4,50	3	0,60	3,00
Resistência à mudança por parte dos intervenientes	4	0,80	4,00	8	0,56	2,80
Tendência para manter o ambiente tradicional da indústria da construção	3	0,85	4,25	12	0,48	2,40
Falta de diretrizes e padrões claros específicos para o BIM	6	0,75	3,75	3	0,60	3,00
Diferentes entendimentos do conceito e dos requisitos da colaboração com o BIM	6	0,75	3,75	8	0,56	2,80
Falta de contratos claros e transparentes apropriados à metodologia BIM	10	0,70	3,50	3	0,60	3,00
Treinamentos ineficientes para metodologia BIM	10	0,70	3,50	8	0,56	2,80
Tendência para manter a estrutura tradicional das equipes de projetos da construção	8	0,73	3,63	11	0,52	2,60
Novas funções ainda não bem definidas	8	0,73	3,63	15	0,40	2,00
Tendência para inexistência do trabalho colaborativo na equipe de projeto	12	0,68	3,38	14	0,44	2,20
Falta de habilidade para trabalhar com a metodologia BIM	14	0,58	2,88	3	0,60	3,00
Resistência de compartilhar dados e informações	13	0,65	3,25	12	0,48	2,40
Dificuldade de utilização das funcionalidades dos *softwares* BIM	15	0,55	2,75	3	0,60	3,00

Nessa análise, é importante destacar que se constatou a presença de cinco barreiras, na terceira posição, por terem a mesma importância. O valor do IIR dessas barreiras (IIR=0,60) evidenciou uma grande diferença de importância em relação às duas primeiras barreiras com as demais. Além disso, ao compará-las com o primeiro grupo, foi observado que esse valor do índice corresponde às últimas barreiras da classificação.

Como exemplo disso, pode ser mencionada a barreira da falta de habilidade para trabalhar com a metodologia BIM que ficou em extremos opostos na classificação dos dois grupos, apesar do IIR possuir valores próximos. Conforme citado anteriormente, essa barreira ficou em terceiro lugar na classificação do segundo grupo com um IIR=0,60, enquanto no primeiro grupo (organizações com o BIM implementado) ocupou a décima quarta posição com um IIR=0,58.

Dessa forma, esses valores de IIR mais baixos do grupo de organizações em que o BIM não está implementado podem indicar que, para os respondentes, a perceção dessas barreiras ainda não é tão clara ou que elas realmente não são significativas face a outras que eventualmente não foram mencionadas no inquérito. Para entender melhor a esse cenário, seria necessário realizar uma análise mais detalhada com

intuito de incluir outras barreiras e de identificar as razões para a dificuldade dos participantes perceberem tais obstáculos.

5. Orientações propostas

Após a realização das análises aos dados recolhidos foi possível definir uma série de orientações no intuito de amenizar as barreiras e facilitar a introdução da metodologia BIM na gestão de projetos das organizações da Construção no Norte de Portugal. Para propor essas orientações, foram consideradas as 10 principais barreiras na classificação dos resultados do inquérito.

Assim, foi elaborada a Tabela 3 no qual para cada barreira foram propostas orientações para mitigar os seus impactos. Destacou-se o papel do gestor de projetos nesse processo visto ser um elemento central dos projetos, que pode encorajar e participar ativamente na implementação e utilização da metodologia.

Tabela 3
Orientações propostas para amenizar as barreiras.

Barreira à implementação do BIM	Propostas para amenização	Gestor de Projeto
Elevado investimento em *softwares* e *hardwares*	– Conscientizar a administração de topo das organizações que o BIM é uma solução com um bom índice custo-benefício – Apresentar casos de sucesso para sensibilizar a administração sobre as vantagens e benefícios do BIM	– Iniciar o processo de apresentação da metodologia BIM à administração de topo
Elevado investimento nos treinamentos para metodologia BIM		
A não exigência da utilização da metodologia BIM, por parte de clientes, parceiros ou órgãos reguladores	– Conscientizar e educar os intervenientes da construção – Os órgãos reguladores devem iniciar o processo de exigência da utilização do BIM nas obras do setor público português	– Encorajar os demais intervenientes a utilizar a metodologia BIM, com discussões sobre o assunto – Exigir que todos os intervenientes utilizem o BIM em determinados projetos
Falta de diretrizes e padrões claros específicos para o BIM	– Conscientizar os órgãos reguladores para que definam orientações, boas práticas e *roadmaps* para orientar a implementação do BIM – Assegurar o apoio e assistência de grupos ou comissões	– Consultar e apresentar à administração, orientações de outros países, até mesmo padrões europeus a serem utilizados
Resistência à mudança por parte dos intervenientes	– Informar e conscientizar os intervenientes sobre as dificuldades do processo de implementação do BIM – Criar equipe para definir, facilitar e acompanhar o processo de implementação do BIM e a performance dos colaboradores – Implementar uma gestão da mudança	– Auxiliar os intervenientes a compreender as mudanças necessárias, impactos, benefícios e desafios para adoção do BIM. – Criar um ambiente de confiança e segurança que permita os intervenientes compartilharem suas reclamações e preocupações sobre esse processo – Participar na gestão de mudança
Tendência para manter o ambiente tradicional da indústria da construção		
Tendência para manter a estrutura tradicional das equipes de projetos da construção		
Falta de contratos claros e transparentes apropriados à metodologia BIM	– Divulgar os modelos de contratos apropriados à metodologia BIM e instruir sobre a sua aplicação.	– Consultar e apresentar à administração modelos de contratos apropriados ao BIM

Diferentes entendimentos do conceito e dos requisitos da colaboração com o BIM	– Conscientizar e educar os intervenientes da construção, sobre o que é a metodologia BIM, seus benefícios e requisitos	– Encorajar os demais intervenientes a utilizar a metodologia BIM, com discussões sobre o assunto, e até mesmo incentivar a sua utilização
Treinamentos ineficientes para metodologia BIM	– Realizar treinamentos de qualidade com maior rigor na verificação da aprendizagem – Estudar os casos de sucesso para aprender como acelerar a curva de aprendizagem.	– Manter uma comunicação com os colaboradores em treinamento para descobrir como ajudá-los e para verificar a eficiência desses treinamentos

6. Conclusão

O estudo realizado visou conhecer e analisar os desafios da utilização da metodologia BIM na gestão de projetos da indústria da construção na zona Norte de Portugal e contribuir para a implementação dessa metodologia com a sugestão de um conjunto de orientações que facilitem a introdução do BIM na gestão de projetos das organizações portuguesas.

A análise das barreiras a implementação do BIM foi fundamental para priorizar os desafios a serem enfrentados na disseminação da metodologia na região Norte de Portugal. Além de evidenciar que as principais barreiras estão relacionadas com os investimentos necessários, a não exigência da utilização do BIM pelas diferentes partes interessadas e a resistência a mudança, encontram-se entre as principais barreiras.

Os dados recolhidos realçaram a existência de uma forte necessidade de realizar ações de consciencialização e a capacitação dos intervenientes. É igualmente importante destacar o papel dos órgãos reguladores, pois um comportamento proativo desses intervenientes, como definição de orientações, boas práticas e *roadmaps*, é essencial para difundir amplamente a implementação do BIM. Além desses órgãos, outro interveniente fundamental para contribuir na mudança do cenário da metodologia BIM é o gestor de projeto, pois pode tomar atitudes para auxiliar a apresentação, implementação e a utilização do BIM nas organizações e também para criar um ambiente, na equipe projeto, propício a mudanças e a discussões sobre a metodologia.

Foram também propostas algumas orientações adequadas a esses desafios no intuito de facilitar a introdução do BIM, cumprindo outro objetivo do trabalho. Dentre as orientações propostas, a que mais se destacou foi a consciencialização para divulgar, informar e convencer as partes interessadas da eficiência dessa metodologia na gestão de projetos e nas construções, mesmo com a necessidade de um investimento inicial maior. Portanto, o presente trabalho reforça a importância da consciencialização sobre a metodologia BIM como um passo imprescindível para o sucesso da implementação e utilização do BIM.

Em suma, o principal contributo deste trabalho centrou-se na análise das barreiras que mais incidem na região Norte de Portugal e na apresentação de um conjunto de propostas adequadas à região e ao momento para mitigar essas barreiras. Com o recurso a uma amostragem localizada, foi possível caracterizar as barreiras da região estudada e propor solução apropriadas ao seu contexto.

Como direções futuras o principal ponto seria alargar a amostra para obter informações e opiniões diversificadas, além de possibilitar uma análise estatística dos resultados. Essa expansão da amostra poderia incluir outros intervenientes e abranger outras regiões de Portugal, a fim de comparar as descobertas e propor orientações adequadas a cada situação.

Outra sugestão seria a realização de um estudo no intuito de verificar a eficiência das orientações apresentadas neste trabalho para facilitar a implementação da metodologia BIM. Esta recomendação é essencial para validar e avaliar a aplicabilidade prática destas orientações.

Referências

[1] D. W. M. Chan, T. O. Olawumi, and A. M. L. Ho, "Perceived benefits of and barriers to Building Information Modelling (BIM) implementation in construction: The case of Hong Kong," *J. Build. Eng.*, vol. 25, no. April, p. 100764, 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2019.100764.

[2] S. Liu, B. Xie, L. Tivendal, and C. Liu, "Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry," *Int. J. Mark. Stud.*, vol. 7, no. 6, pp. 162–171, 2015, doi: 10.5539/ijms.v7n6p162.

[3] M. Oraee, M. R. Hosseini, D. J. Edwards, H. Li, E. Papadonikolaki, and D. Cao, "Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 37, no. 6, pp. 839–854, 2019, doi: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004.

[4] PMI, *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*, 6th ed. Newtown Square, 2017.

[5] PMI, *Construction Extension to the PMBOK® Guide*. Newtown Square, 2016.

[6] S. Rokooei, "Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes," in *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 210, no. December 2015, pp. 87–95, doi: 10.1016/j.sbspro.2015.11.332.

[7] R. L. Dornelas, "A tecnologia BIM e o gerenciamento da integração: uma proposta colaborativa," p. 11, 2013.

[8] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *A Guide to Building Information Modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*, 3rd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2018.

[9] M. Venâncio, "Avaliação da implementação De BIM – Building Information Modeling em Portugal," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

[10] G. Fernandes, "BIM na Gestão de Projetos: Desafios para as partes interessadas," - Disssertação de mestrado. Universidade do Minho, 2021.

[11] Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção, "Estudo prospetivo setorial e identificação de áreas prioritárias, oportunidades e orientações estratégicas para as PME do setor AEC da Região Norte." 2019.

A importância do BIM no empreiteiro geral em processos de conceção-construção

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.10

Carlos Neto[1], **Carlos Carvalho**[1], **Adriana Ferreira**[1]

[1] *Grupo AOC – Aníbal de Oliveira Cristina, Leiria*

Resumo

O Grupo Aníbal Oliveira Cristina, que tem como missão projetar e construir obras de engenharia civil criando simultaneamente valor a todos envolvidos, iniciou o processo de implementação da metodologia BIM em projetos de conceção-construção. Para tal definiu-se um plano de ação para a introdução da metodologia BIM *(Building Information Modeling)* na empresa, estipulando objetivos para curto e médio-longo prazo; estes passam pela criação de um grupo de técnicos capacitados a utilizar esta metodologia de trabalho, pelo desenvolvimento de fluxos de trabalho e de capacidades de desenvolver e potenciar serviços BIM no âmbito dos trabalhos do Grupo. Já a médio-longo prazo os objetivos são aumentar o retorno sobre o investimento e simultaneamente providenciar um melhor serviço aos clientes, interna e externamente, de modo a exceder as suas expectativas. Para se atingir não só estes objetivos, mas também a capacitação e consolidação de competências BIM, partiu-se para um projeto-piloto, utilizando o projeto conceção-construção de uma plataforma logística em Alenquer. Neste primeiro projeto, o objetivo foi uma abordagem à modelação tridimensional das especialidades de Arquitetura, Estabilidade e MEP *(Mechanical, Electrical and Plumbing)* e a deteção de possíveis colisões; todas estas funcionalidades BIM exploradas no projeto-piloto deram um contributo positivo para a equipa de obra do Grupo AOC e levaram à aplicação da metodologia a outros processos conceção-construção na empresa ao longo do último ano. Apresenta-se neste artigo a motivação e estratégia inerentes à implementação, assim como os resultados nos projetos da utilização da metodologia BIM na empresa.

1. Introdução

A AOC – Grupo Aníbal Cristina, Lda, é uma empresa do ramo da construção, a operar desde 1987, nos setores industriais, logística e serviços, habitação e escritórios, com valências de metalomecânica. Está localizada em Leiria, zona centro do país, com operação na totalidade do mesmo e também a nível internacional.

Destaca-se pelas suas soluções de *Design&Build*, razão pela qual procura e utiliza software que auxilie e simplifique todo o processo de obra, desde o estudo prévio até ao *facility management*.

Projetar e construir obras de engenharia civil criando valor e respeitando o ambiente é a missão da organização. Deste modo, o enquadramento do BIM na organização passa por acrescentar valor com partilha de informação e introdução de *know how* de todos os envolvidos, com vista à elaboração do projeto mais completo, otimizado e compatibilizado.

2. Estratégia de Implementação de Construção Digital

2.1. Motivação

A utilização de softwares 2D de forma individual pelos projetistas das diferentes especialidades leva a uma difícil identificação dos problemas que advêm em obra [1] – isto acontece não só pela falta de comunicação entre especialidades, mas especificamente pela visão limitada que se consegue ter da interação entre os diversos elementos a executar em obra [2]; estas limitações fazem com que as diversas interferências e divergências nos projetos muitas vezes só sejam identificadas já em fase de execução, o que leva a custos não previstos e a atrasos no planeamento.

Assim, torna-se objetivo final conseguir a compatibilização dos diversos projetos, de uma forma em que possa haver uma visão tridimensional de todos os elementos, permitindo a análise de um ponto específico e da sua interação com a restante obra, desde a sua fase mais embrionária, sem que se aguarde pela conclusão de uma especialidade para iniciar a seguinte.

Parte significativa dos projetos do Grupo AOC são obras de conceção/execução integral ou parcial. Deste modo, recai sobre a organização a necessidade de criar projetos de qualidade de modo a serem corretamente executados, pois uma solução alternativa pode deixar de ser competitiva caso não esteja corretamente estudada (Fig.1).

Sobre isto, acresce o facto de em obras em regime conceção/construção, a responsabilidade de compatibilização de projeto tender a ser imputada ao Empreiteiro Geral, mesmo que apenas parcial. Assim, o risco só vale a pena ser corrido quando o conhecimento sobre o projeto é elevado.

Analisando estas premissas, obtidas através da análise de dados provenientes de anos no setor, o Grupo AOC tomou, no ano de 2019, a iniciativa de implementar a metodologia BIM, reorganizando a sua abordagem na gestão dos processos de conceção-construção (Fig. 2).

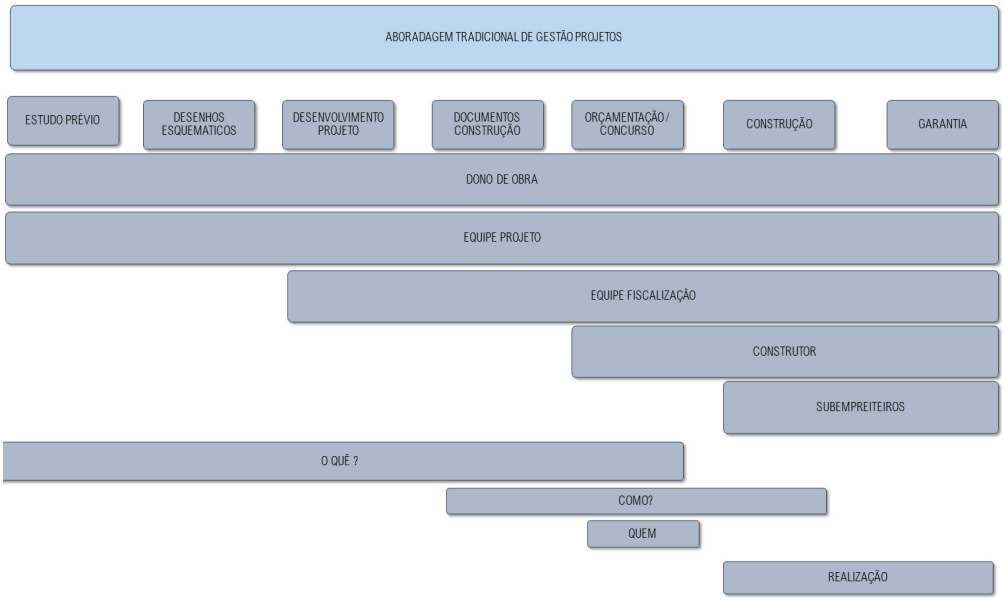


Figura 1
Abordagem tradicional de projetos construção.

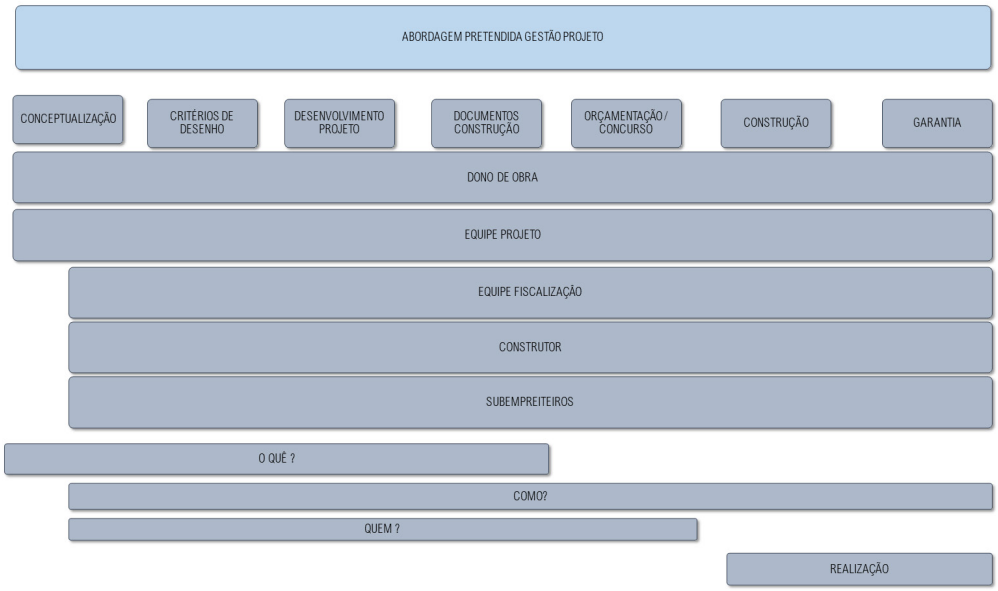


Figura 2
Abordagem pretendida para gestão de projetos conceção-construção.

2.2. Objetivos da Implementação

Assim, tendo como ponto de partida as exigências atuais da indústria AEC *(Architecture, Engineering and Construction)* e a constante vontade de evolução, os objetivos da implementação BIM na empresa passam por:

- A curto prazo, pela criação de um grupo de técnicos capacitados a utilizar esta metodologia de trabalho, desenvolvimento de fluxos de trabalho e capacidades de desenvolver e potenciar serviços BIM no âmbito dos trabalhos do Grupo;
- A médio-longo prazo, os objetivos são aumentar o retorno sobre o investimento e simultaneamente providenciar um melhor serviço aos clientes, sejam estes internos ou externos, de modo a exceder as suas expectativas, oferecendo projetos cada vez mais completos e compatibilizados e com a informação necessária ao uso de cada cliente.

2.3. Plano de Implementação

Após a definição dos objetivos, passou-se para a implementação do processo e a estruturação deste. O processo foi dividido em três fases, sendo que para cada fase foram definidos que recursos são alocados para o alcance do objetivo.

Estas tarefas foram fragmentadas num contexto temporal – para uma primeira fase, a curto prazo, foram consideradas as necessidades mais prementes da incorporação da metodologia BIM, definindo como recursos a criação de um grupo de técnicos, incluindo a definição de quantos técnicos iriam fazer parte dessa equipa, necessidade de formação destes técnicos, bem como a determinação de que *software* iria ser adotado e *hardware* necessário para trabalhar. O objetivo era o desenvolvimento da modelação das diversas especialidades, internamente e em cooperação com subempreiteiros designados, tal como a sua coordenação.

Para a fase 2 e 3, objetivos a implementar, respetivamente, a médio e longo prazo, os recursos a colocar já dependeriam da pesquisa e adoção de quais seriam as melhores metodologias de trabalho para definição dos *workflow*s de interoperabilidade com outros projetistas ou com, por exemplo, serralharias em conceção-fabrico; significando assim um melhoramento e apuramento das técnicas de trabalho, tal como um desenvolvimento do trabalho na direção da apresentação de resultados nas dimensões 4D e 5D – planeamento e análise de custos.

A fase 3 acrescenta a capacidade de solidificar este serviço e apresentá-lo a possíveis novos clientes em fase comercial e ser determinante para a angariação da obra; esta apresentação na fase inicial do processo necessita de um equilíbrio entre tempo despendido e resultados acrescidos, permitindo desenvolver uma modelação descomplicada mas completa no curto período da fase comercial, mostrando as melhorias passíveis de ser implementadas nas diversas especialidades e permitindo ao cliente final visualizar essas mesmas melhorias. Como objetivo final nesta fase, encontra-se a capacidade de apresentar melhorias na dimensão da sustentabilidade (6D) nos projetos de conceção-execução.

Tabela 1
Faseamento de implementação.

	FASE 1	FASE 2	FASE 3
Objetivos	Grupo de Trabalho + Modelação e Coordenação BIM 3D	*Workflows* + 4D e 5D + Fabrico Metalomecânica	Melhor serviço aos clientes + 6D
Recursos	Grupo de Trabalho + Parceiros Projetistas e Subempreiteiros	Grupo de Trabalho + Parceiros Projetistas e Subempreiteiros + Direção de Obra	Grupo de Trabalho + Parceiros Projetistas e Subempreiteiros + Direção de Obra + Dono de Obra

3. Projeto Piloto

A escolha do projeto-piloto recaiu sobre o projeto de conceção-construção de uma plataforma logística em Alenquer. Trata-se de um edifício destinado a armazém logístico com temperatura controlada, composto por uma nave e um "corpo" destinado a escritórios com 3 pisos acima da cota de soleira, totalizando uma área com cerca de 7 500m^2.

A escolha deste projeto como projeto-piloto foi tomada considerando diferentes fatores: a área logística é um dos maiores setores de trabalho do Grupo AOC, retirando assim grande proveito das conclusões finais deste piloto e permitindo aplicá-las rapidamente a futuras obras. O projeto incluía diferentes exemplos de estrutura – betão *in-situ*, betão pré-fabricado e estruturas metálicas, execução de estacas cravadas, permitindo coordenar as interações entre estas e extrapolar; relativamente às especialidades, e sendo uma unidade de frio, permitia a interação e trabalho conjunto com os subempreiteiros em pontos chave, não só melhorando a execução destes trabalhos em obra, como permitindo refinar a interação com os projetistas e modeladores externos de especialidade.

3.1. Metodologia de trabalho

Este projeto contou com a colaboração de projetistas parceiros que participaram ainda na fase de concurso, sendo o seu contributo essencial para angariar a obra.

No entanto, e em fase de obra, constatou-se que nem todos os projetistas participantes no projeto trabalhavam com metodologia BIM; competiu assim ao grupo de trabalho do Grupo AOC modelar as estruturas de betão *in-situ*, Arquitetura e Instalações Hidráulicas, tal como coordenar as especialidades de diferentes projetistas e detetar incompatibilidades em fase de projeto. Em fase de obra, a manutenção da modelação e o fornecimento de pormenores e informação à equipa pautaram a empreitada.

3.2. Modelação dos projetos

Como *software* de modelação foi definido o "REVIT" da Autodesk; a escolha prendeu-se pelo uso prévio de outros *softwares* da Autodesk no Grupo e pela interoperabilidade

que daí adviria. As especialidades foram modeladas em distintamente (Figs. 3, 4 e 5) e posteriormente coordenadas num único modelo que serviu para deteção de incompatibilidades (Fig. 5).

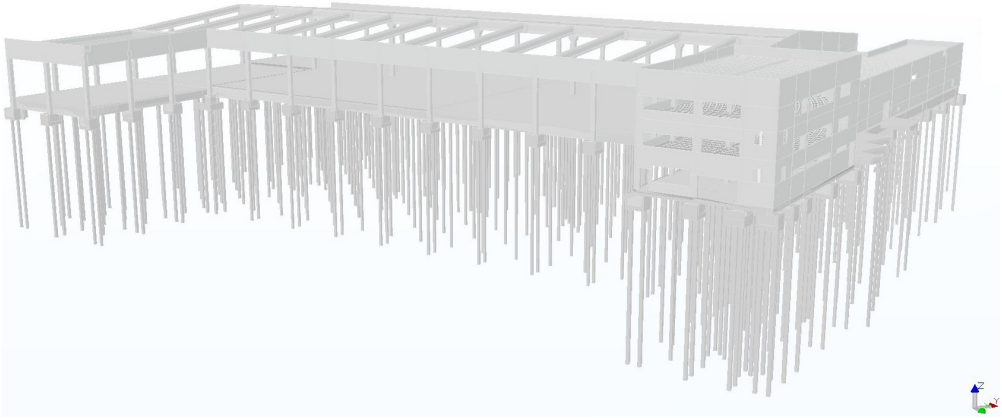


Figura 3
Projeto-Piloto, modelo BIM de estabilidade.

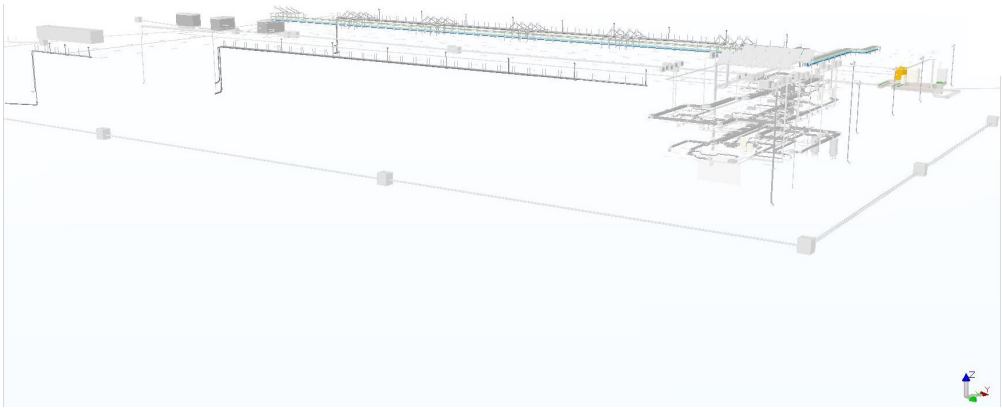


Figura 4
Projeto-Piloto, modelo BIM de MEP.

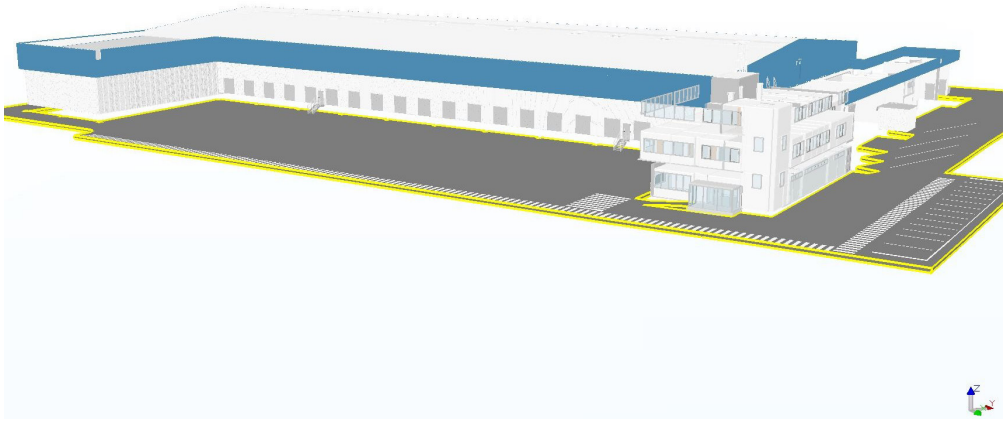


Figura 5
Projeto-Piloto, modelo BIM de arquitetura/ arranjos exteriores.

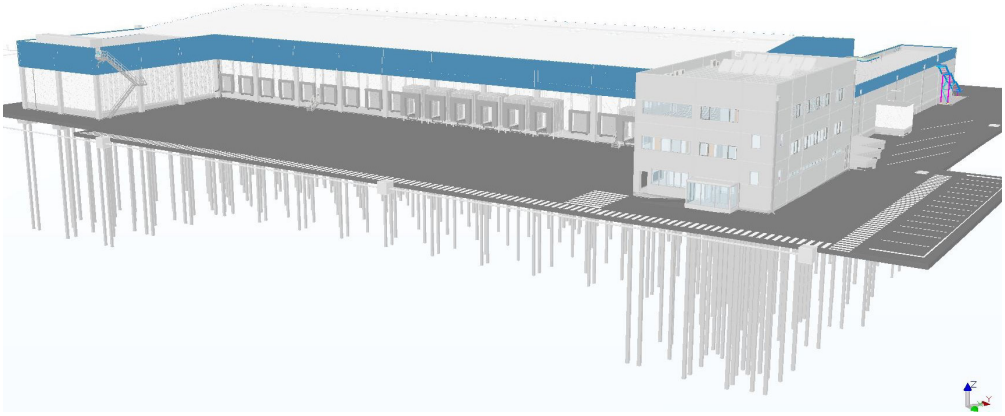


Figura 6
Projeto-Piloto, modelo BIM de coordenação.

A realização dos modelos permitiu detetar várias incompatibilidades durante a execução do projeto e corrigi-las atempadamente. Notou-se também, que em algumas situações nos modelos onde não foi dado o detalhe suficiente ou real, foi onde em obra existiram incompatibilidades e necessário apoio e revisão do projeto.

3.3. Trabalho colaborativo

Com a implementação a decorrer, quer a nível interno, quer com os parceiros, verificou-se ser de maior necessidade trabalhar colaborativamente numa única base, reduzindo as trocas de *e-mail*, arquivos, desenhos, entre outros. Assim, adotou-se um ambiente de trabalho colaborativo em *cloud*, no caso o BIM360/ACC *(Autodesk Construction Cloud)*, onde o arquivo é assegurado e sempre visível a todos os membros, as interações são momentâneas e de fácil interpretação. Permitiu-nos concentrar num único local todas as bases para a modelação, identificar e atribuir pontos de colisão e zonas a corrigir aos coordenadores/modeladores específicos e permitir a visualização sem necessidade da partilha de ficheiros exportados.

4. Outros projetos desenvolvidos em BIM

Consequente da implementação e da experiência alcançada foram realizados outros projetos em BIM, como:

- Projeto Conceção-Construção de uma central de biomassa

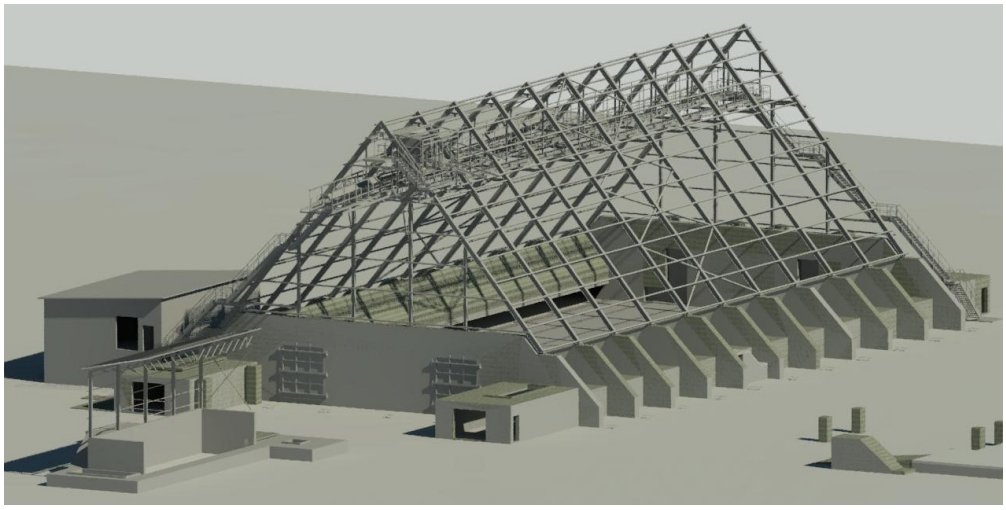


Figura 7
Modelo BIM do projeto de uma central de biomassa.

- Projeto de Conceção-Construção de um lar de idosos em Leiria;

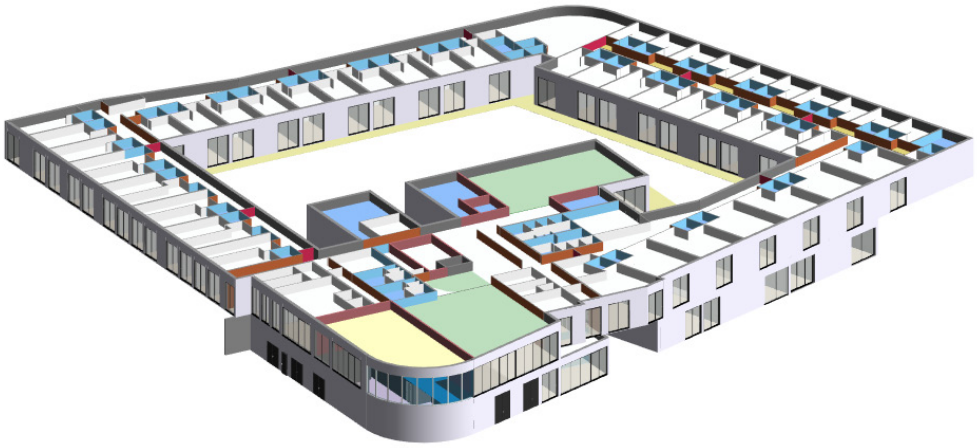


Figura 8
Modelo BIM do projeto de um lar de idosos em Leiria.

• Projeto de Conceção-Construção de uma superfície de retalho

Figura 9
Modelo BIM do projeto de uma superfície de retalho.

• Projeto de Conceção-Construção da nova sede do Grupo AOC em Leiria.

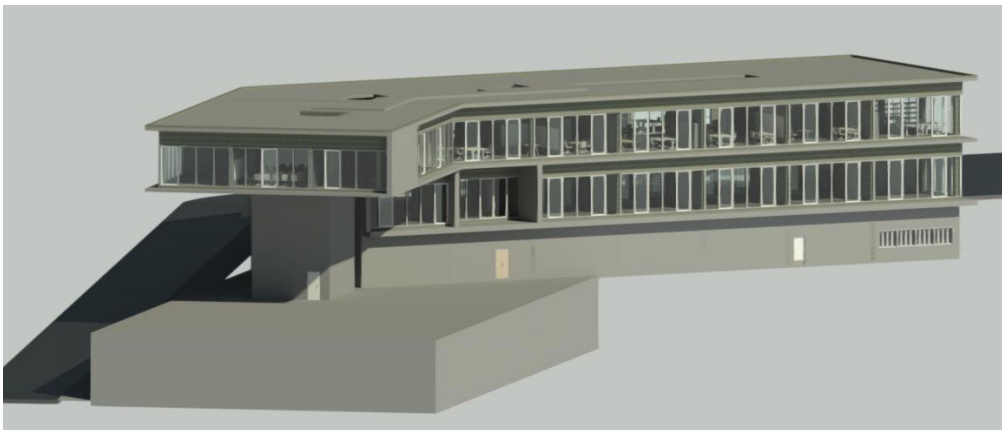


Figura 10
Modelo BIM do projeto da nova sede do Grupo AOC em Leiria.

• Projeto de Conceção-Construção de uma superfície comercial

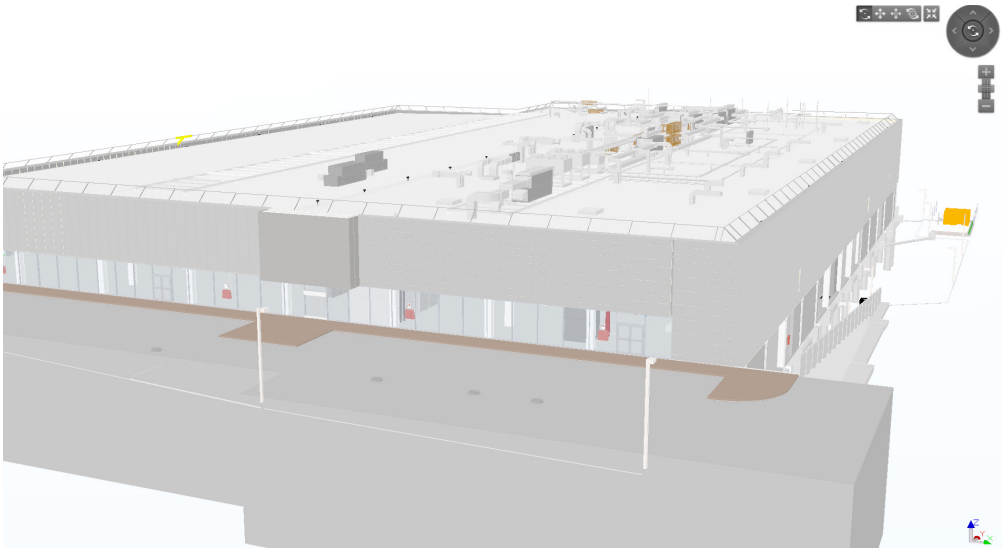


Figura 11
Modelo BIM do projeto de uma superfície comercial.

• Projeto de Conceção-Construção de uma superfície de retalho

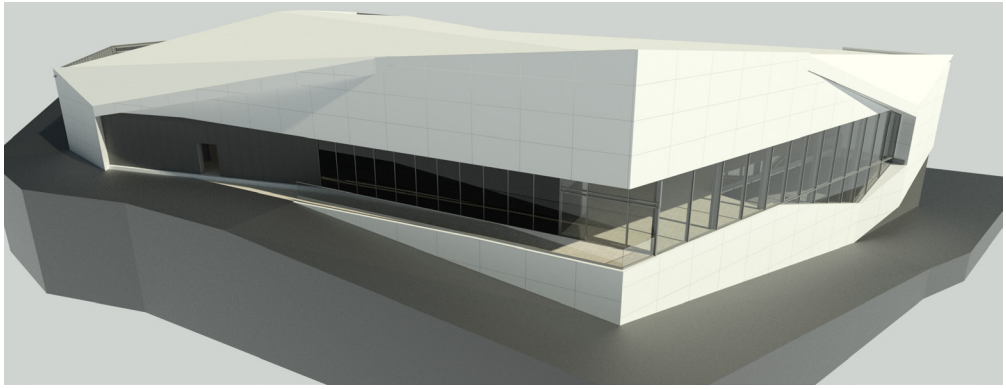


Figura 12
Modelo BIM do projeto de uma superfície de retalho.

• Projeto de Conceção-Construção de um pavilhão industrial

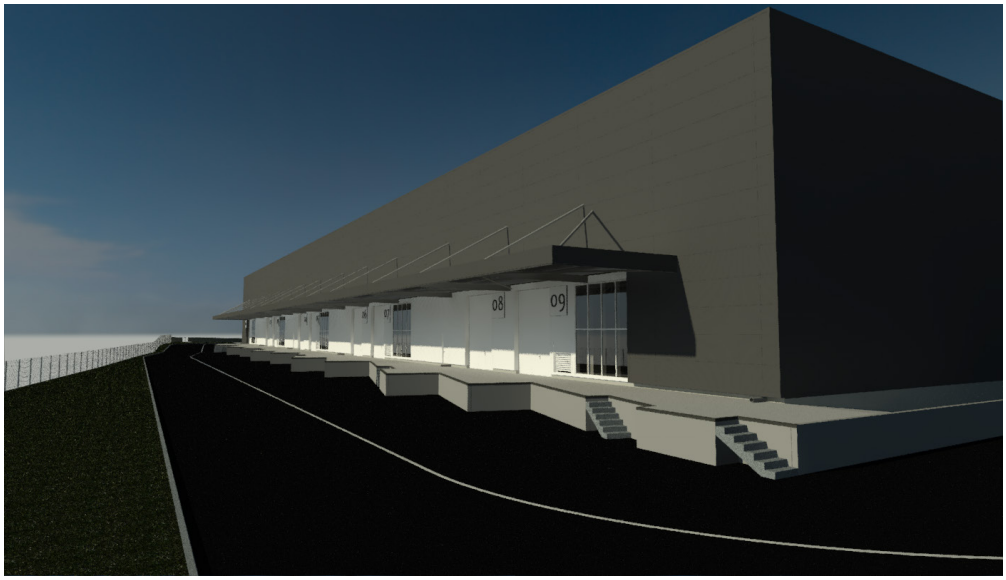


Figura 13
Modelo BIM do projeto de um pavilhão industrial.

Todos estes projetos são utilizados não só para deteção de conflitos, mas também para a extração de quantidades. O planeamento da construção apenas foi desenvolvido em alguns destes projetos, e apenas na especialidade de estruturas.

Estes modelos serviram para uma comunicação mais clara, quer com a direção de obra e fiscalização, quer com o dono de obra que, com uma visualização tridimensional do seu projeto, podia fazer alguma decisão e perceber o seu impacto mais rapidamente no espaço e no custo.

Os resultados têm sido bastante satisfatórios e encorajadores para alcançar os objetivos propostos.

5. Conclusões

O BIM tem tido um papel de unificador dos projetos, aumentando a análise e discussão entre os envolvidos, diminuindo o erro/incompatibilidade no desenrolar das soluções, integrando toda a informação associada num só modelo acessível por todos os envolvidos. Temos assim verificado que o número de incompatibilidades tem diminuído.

Especificamente no caso do primeiro projeto BIM desenvolvido pelo Grupo AOC, verificámos que, embora o tempo despendido numa primeira fase tenha sido superior ao atestado em projetos anteriores, esse tempo foi recuperado nas fases seguintes. Comprova-se, como referido em pontos anteriores, que a visualização e resolução de colisões em 3D é mais expedita, não só pela rapidez com que elas são encontradas, mas igualmente pelo número de colisões que são descobertas – tal ocorre exponencialmente nas interações entre especialidades MEP, em que as variações de cotas e cruzamentos entre estas são constantes e em que os redireccionamentos em obra são várias vezes necessários. Constata-se igualmente uma facilidade de verificação de situações chave que bastantes vezes não vêm traduzidos em projeto, como são, por exemplo, o colmatar de zonas de pontes térmicas ou de remates, a existência de armadura em locais de furação; há uma maior agilidade em traduzir e confirmar processos de obra no modelo 3D. Aliado a estas vantagens, existe a extração de quantidades, que é cada vez mais exata à medida que desenvolvemos o processo BIM na empresa.

Com o desenvolvimento dos trabalhos seguintes ao projeto-piloto, verificámos igualmente a importância da inclusão da topografia nos modelos, permitindo-nos não só retirar quantidades de movimentos de terras como verificar pontos críticos da implantação. Com as valências de metalomecânica inseridas no grupo e através da interoperabilidade entre softwares, trabalhamos par-a-par para desenvolver as estruturas metálicas e serralharias necessárias à obra, inserindo-as nos restantes modelos, verificando e adaptando em tempo real. Essa interoperabilidade verifica--se igualmente na porção de cálculo de estruturas, permitindo uma atualização em contínuo, num *back and forth*.

Na fase de obra, e com o processo escrutinado previamente, eliminadas as falhas que levariam a um aumento de custos e tempo, o modelo é atualizado para que reflita a construção. A preparação para tarefas a executar em obra tornou-se rápida pela facilidade com que se emite um pormenor e pela atualização simultânea de todos eles, cada vez que existe uma alteração.

Comprovámos que a interação com os restantes intervenientes é descomplicada; com os projetistas de especialidades a comunicação é maior, e a integração de todos os modelos num lugar comum simplifica essa comunicação – as questões levantadas podem ser apontes nos locais em que estas existem, sem a necessidade de troca de correspondência. Torna-se igualmente mais simples a conversação com os subempreiteiros,

com a visualização das zonas em questão e a tradução do que existe de facto em obra, facilita a comunicação com o cliente.

No panorama português e no nosso ponto de vista, consideramos que se tem verificado uma grande aposta na metodologia BIM nos últimos anos, uma vez que os projetos são cada vez mais complexos e o tempo para executar as obras é cada vez mais curto. Verifica-se também, que da parte do cliente, pelos mais diversos motivos, surgem muitas vezes alterações a projeto já durante a execução.

No projeto tradicional, o risco de tais alterações implicarem conflitos é enorme e pode implicar a um longo período de análise. Contudo utilizando a metodologia BIM, a escala temporal reduz substancialmente, tornando muitas vezes viável a alteração sem grandes impactos temporais. Sem dúvida que, no futuro próximo, a palavra modelo passará a ser mais frequente no nosso dia-a-dia que a palavra desenho.

A implementação BIM na organização é ainda um processo em curso. Uma implementação destas não está concluída com a aquisição de hardware e software, é um processo longo, com alguns *quickwins*, mas o verdadeiro retorno aparecerá a médio prazo. Numa organização como o Grupo AOC, um dos principais desafios é ultrapassar o hábito pelo método de trabalho tradicional. O paradigma atual não é o mesmo que anteriormente. Hoje não se recebe o projeto de estruturas e imediatamente se leva para obra para se executar. Antes de passar para execução são validadas as estruturas secundárias, as infraestruturas, as especialidades e a arquitetura e todas devidamente compatibilizadas.

6. Referências

[1] G. H. Nunes, M. Leão, *"Comparative Studies of Design Tools - the traditional CAD and BIM Modeling"*, Universidade do Estado de Mato Grosso – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Mato Grosso, Brasil

[2] A. O. Akponeware and Z. A. Adamu, *"Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problemans in 3D BIM"*, School of Civil and Building Engineering, Loughborough, UK.

Otimização da construção civil com a filosofia «Lean Construction»

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.11

Gustavo Josias da Silva[1], **Fernanda Ferreira**[2]

[1] *MBA Pecege-USP-ESALQ, Piracicaba, São Paulo, Brasil, ID ORCID 1*

[2] *Faculdade de Tecnologia de São Paulo – Bom Retiro, São Paulo, Brasil, ID ORCID 2*

Resumo

Ao longo dos anos, os projetos de engenharia estiveram inseridos em ambientes cada vez mais competitivos, além de apresentarem maior complexidade. Por tanto, existe uma grande busca por geração de valor ao cliente. Essa maximização de valor tem sido o objetivo da "Lean Construction" [LC], ou como traduzido 'Construção Enxuta', que a princípio busca a redução de ações de desperdício, visando a agregação do valor e a manutenção da empresa de construção em um mercado cada vez mais competitivo. A questão que esta pesquisa responde é se os profissionais da construção civil percebem além da agregação do valor, a colaboração na redução do impacto ambiental da obra, ou seja, como atitude sustentável. Para cumprir o objetivo foi realizada uma revisão bibliográfica do tema, onde buscou-se compreender o estado da arte e adicionalmente foi realizado um questionário estruturado aplicado a profissionais do setor, buscando coletar informações relevantes para responder à questão proposta. Os principais resultados consistiram em mostrar que a maioria dos profissionais conhecem ferramentas e técnicas do LC e concomitantemente conhecem conceitos de certificação e sustentabilidade, porém as empresas as utilizam parcialmente obtendo alguns resultados positivos, entretanto, os entrevistados foram unânimes em alegar que existe relação entre a implementação da filosofia da LC e o aumento da eficiência do setor, em especial em relação a sustentabilidade.

Introdução

Nos primórdios da construção civil, a necessidade de sobrevivência fez com que os humanos construíssem seus próprios abrigos utilizando os elementos naturais ao seu redor. Ao longo do tempo, as estruturas foram adquirindo características cada vez mais complexas, reflexo do desenvolvimento das técnicas utilizadas. Com o advindo da revolução industrial foi possível verificar a instituição de escolas de engenharia, fomentando novas técnicas, materiais, sistemas e métodos de construção [1]. Assim foi possível assistir ao surgimento de empresas de construção civil organizadas, visando tanto o campo das grandes obras como das edificações.

Segundo Piovezan e Silva [2], as atividades da construção civil respondem, em geral, por 40% dos resíduos provenientes de todos os setores da economia global. Algumas razões que justificam essa baixa produtividade do setor são apresentadas por Matias e Cachadinha [3] como a inercia dos participantes do mercado português, quanto a baixa tolerância à mudança na cultura laboral e a pouca utilização de novas práticas de trabalho.

Dessa forma, torna-se imperativo a implementação de alternativas que busquem trazer eficiência quanto a cumprimento de prazos, custo e qualidade neste setor. A proposta da filosofia "Lean" é a redução dos desperdícios, melhoramento da qualidade, aumento da produtividade, redução do tempo de construção e o melhoramento dos processos construtivos, tendo como base a agregação do valor ao cliente e a manutenção da empresa no mercado.

Este trabalho busca apresentar a usabilidade da filosofia "Lean Construction" [LC] – Construção Enxuta – como solução para um dos principais problemas no setor da construção civil – o desperdício de recursos, encorajando os gestores de obras a inovarem na gestão dos empreendimentos usando técnicas da Construção Enxuta, para que consigam realizar o produto da construção com eficiência e atender a demanda do mercado atual por sustentabilidade.

Para alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos, foram feitas as seguintes ações: estudou-se através de referências bibliográficas os principais conceitos, abordagens e desafios a implementação desse tema; preparou-se e aplicou-se questionário estruturado direcionado a obter informações pertinentes aos principais resíduos das construções e até que ponto as ferramentas e técnicas de construção enxuta penetraram atualmente na indústria da construção civil brasileira, em especial na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil; observando seus benefícios; e finalmente analisou-se através da revisão da literatura e das respostas dos entrevistados, o efeito da otimização da construção civil através da aplicação da ferramenta LC.

Metodologia de pesquisa

Para investigar o estado da arte do tema LC, utilizou-se uma pesquisa bibliográfica exploratória, buscando entender os principais pontos acerca dessa filosofia. Para tal

objetivo foram selecionados publicações, livros, teses, dissertações e artigos científicos para compor o corpo deste trabalho, compreendendo os últimos anos de pesquisa acerca do tema. Neste processo, buscou-se escolher as publicações que facilitassem compreender os principais pontos sobre:

- resíduos da construção;
- técnicas/benefícios observados com a implementação do método LC;
- convergência entre os temas da construção enxuta e da sustentabilidade; e
- barreiras à implementação do método LC.

Adicionalmente foi realizado um questionário estruturado buscando uma abordagem quantitativa. O questionário foi estruturado em perguntas objetivas e direcionado para empresas do setor no estado de Pernambuco, na cidade do Recife, direcionado a profissionais da construção civil.

Dessa forma, buscou-se coletar dados sobre:

- as principais competências na execução de obras;
- grau de eficiência da empresa para evitar produzir resíduos;
- causas e consequências na produção de resíduos em obras;
- quais as ferramentas de LC são aplicadas nas empresas;
- quais benefícios são reconhecidos pelas empresas que as utilizam; e
- quais são as principais barreiras observadas para a implantação total do LC.

Revisão da literatura

O sucesso de um projeto é medido pela qualidade, cumprimento de prazos, conformidade com o orçamento e grau de satisfação do cliente [4]. Em outras palavras, quando as expectativas do cliente e de outras partes interessadas em termos de custo, tempo de conclusão e qualidade não são correspondidas pela construção real por contratados e outras equipes de projeto, o projeto é considerado uma falha.

Gestão da Construção foi definida tipicamente como “a alocação criteriosa de recursos para concluir um projeto no orçamento, no prazo e com a qualidade desejada”. Essa definição captura a essência do que inspirou e orientou a prática e a pesquisa no campo de Gerenciamento de Construção. No entanto, a falha e a incapacidade dos modelos conceituais de Gerenciamento de Construção (tripe tempo-custo-qualidade, estrutura analítica do projeto, métodos de caminho crítico e valor agregado) para cumprir o mantra de "dentro do prazo, no orçamento e na qualidade desejada" é evidente para os profissionais, acadêmicos e clientes que passam por experiências negativas recorrentes em projetos de construção [5].

Em 1992, Koskela já argumentava sobre o descompaço entre os modelos conceituais de gestão da construção e a realidade observada nos projetos, assim desenvolveu a teoria Transformação-Fluxo-Valor (TFV). Da produção artesanal incorporou a visão de transformação, enquanto da produção em massa incorporou a visão de fluxo, já a geração de valor foi inspirada pela excessiva confiança nos paradigmas de

transformação e fluxo. A inclusão da geração de valor voltada às necessidades do cliente é uma característica única da teoria TFV o que a tornou mais robusta e mais ampla do que apenas o sistema de produção inicialmente incorporado no Sistema Toyota de Produção [6]. Sendo então, um dos responsáveis pela introdução do "lean" na construção civil.

Nesta busca por melhorias na construção foi desenvolvido o modelo de gestão da Construção Enxuta, que podemos contextualizar como um sistema de entrega de projetos baseado no processo de Gerenciamento da Produção Enxuta, originalmente desenvolvido pela Toyota Motor Company, que visa melhorar o valor das atividades satisfazendo as necessidades dos clientes e ao mesmo tempo melhorando o desempenho da produção [7].

Uma vez que os contratados reconhecem as melhorias de implementação da filosofia "Lean", o maior benefício que eles experimentam é a competitividade, qualidade do produto e satisfação do cliente final [8].

A construção enxuta é uma das estratégias para melhorar a sustentabilidade da construção. Em outras palavras, é um método para alcançar a construção sustentável [9]. A abordagem "Lean" na construção sustentável se concentra na remoção de todas as formas de resíduos dos processos de construção para permitir mais eficiência. A integração da LC com a sustentabilidade busca resultar em redução de desperdício (tanto desperdício de processo como de material), redução no consumo de energia, redução no uso de água, redução no custo e melhoria na qualidade ambiental. No entanto, a contribuição da construção enxuta para o desenvolvimento sustentável vai além do aspecto ambiental, mas também se estende aos aspectos sociais e econômicos. Olhando para esfera econômica, tem-se como principal impacto a redução de custo e aumento de lucro; se olharmos para esfera ambiental, tem-se a otimização em usos dos recursos e redução de resíduos; e se olharmos para esfera social nota-se melhora no ambiente e saúde do trabalho.

Os três principais benefícios entre a sincronização entre construção enxuta e sustentabilidade são: melhoramento da imagem corporativa, aumento da produtividade e redução de resíduos [10].

Questionário estruturado

Usou-se a ferramenta de formulários do Google para a profissionais que trabalham em empresas de construção civil em geral e foi garantido o anonimato a todos os participantes. Em seguida, as informações foram coletadas do Google para serem apresentados.

1) Qual cargo você ocupa atualmente no ramo da construção civil, conforme figura 1.

Figura 1
Cargo que o entrevistado ocupa atualmente no ramo da construção civil.

Na descrição dos cargos, havia a opção "outros", e alguns entrevistados desatentos repetiram as opções, como caso de tecnólogo ou tecnólogo em edifícios, professor ou professora. Outra dúvida é que, no Brasil é comum professores de nível superior serem consultores em empresas de construção civil, portanto, como só havia uma opção a ser escolhida, alguns responderam 'professor' ou 'professora'.

Conforme o gráfico, 45,2% são engenheiros civis, 2,4% são engenheiro eletricista, 19,1% são consultores e/ou professores universitários, 9,6% são estágiários, 9,6% são tecnólogo ou auxíliar de engenharia, 7,0% são gerentes de projetos, e 7,1% correspondem a outros cargos como: autônomo, incorporador (investidor), comprador.

2) Há quanto tempo você atua na área de construção civil, conforme a figura 2.

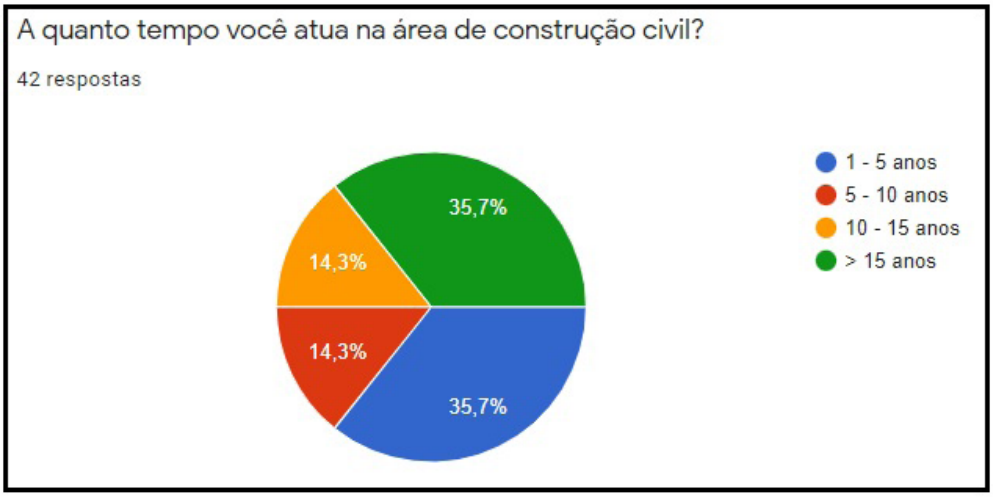


Figura 2
Tempo de experiência do entrevistado.

3) Em quais competências a empresa em que você trabalha se destaca quando da execução de uma obra. Você pode escolher até 3 competências no sentido das mais relevantes (figura 3).

Figura 3
Principais competências exploradas das empresas em que os entrevistados atuam.

A pergunta não exclui a possibilidade de que a empresa utilize todas as competências gerenciais em suas obras, mas quais as 3 mais relevantes. Por exemplo, existem empresas de construção civil no Brasil especializada em obras para restaurantes "fast food" ou lojas de franquias. Nesses casos o gerenciamento de prazo ganha muita importância, pois o faturamento diário desses clientes é significativo. Obras financiadas de moradia podem considerar relevante o orçamento e o fluxo de caixa, e assim sucessivamente.

4) Considerando o termo "Produzir Resíduos" como atividade que não agrega valor, ou seja, atividades ligadas a ineficiência de Obras. Quais são as principais causas para que isso aconteça. Você pode escolher até 3 ações mais relevantes (figura 4).

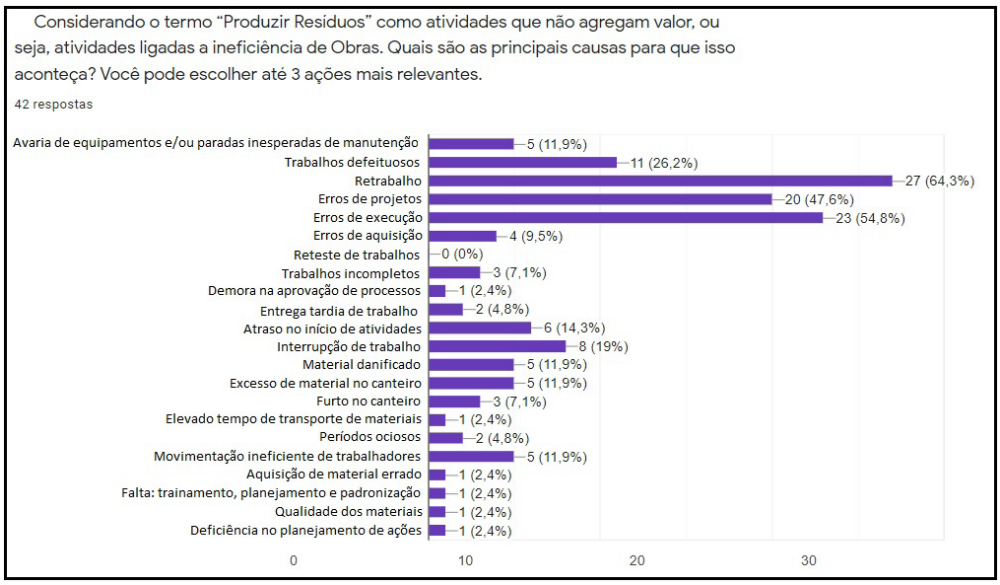


Figura 4
Principais causas da ineficiência em obras de acordo com os entrevistados.

5) De acordo com as causas selecionadas na questão anterior, quais as principais consequências observadas na Obra. Você pode escolher até 3 causas mais relevantes (figura 5).

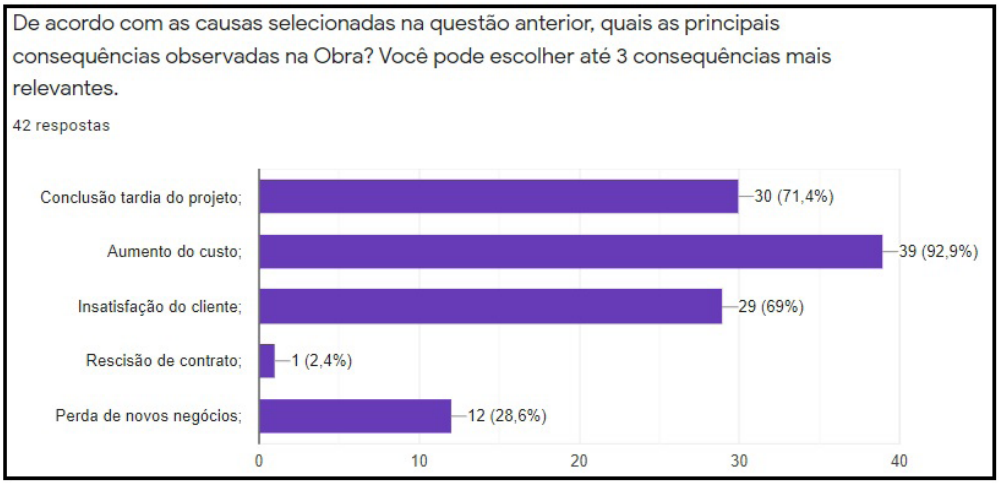


Figura 5
Principais consequências de obras ineficientes segundo os entrevistados.

6) Você está familiarizado com o termo "Lean Construction" ou 'Construção Enxuta', (conforme a figura 6).

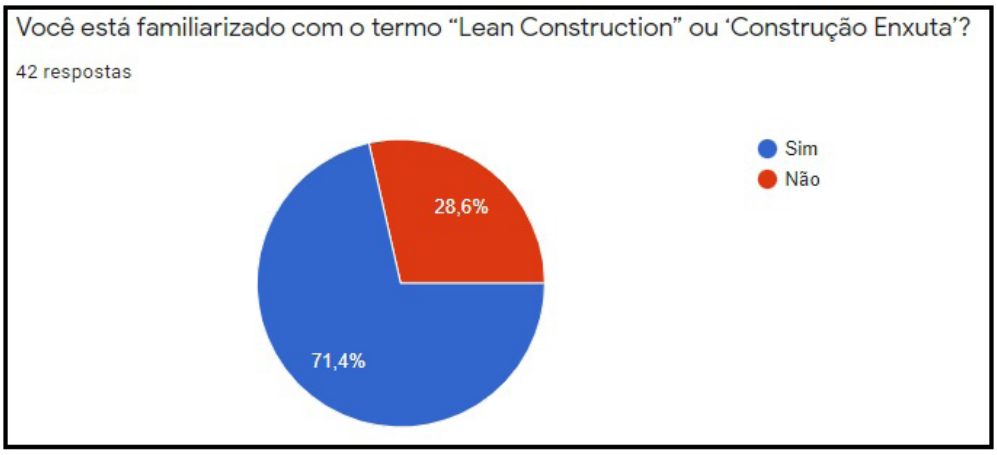


Figura 6
Familiaridade dos entrevistados com o tema «Construção Enxuta».

7) Quais ferramentas da Construção Enxuta estão sendo aplicadas nas obras da empresa.

Você pode escolher até 3 ferramentas mais relevantes (figura 7).

Alguns entrevistados podem não estar familiarizados com o termo "Lean Construction", mas as ferramentas e técnicas podem estar sendo aplicadas pontualmente na empresa. Por isso, foi permitido que todos respondessem a essa pergunta de número 7 e a pergunta de número 8. Por exemplo, no Brasil existem empresas de construção civil que utilizam as metodologias de projeto com o BIM e que não são adeptas necessariamente a filosofia do "lean", o que é lamentável. Outro exemplo, é o "Total Productive Maintenance", ou 'Manutenção Produtiva Total', que uma das bases do LC, em que as empresas se preocupam com seus equipamentos para evitar imprevistos, não necessariamente são adeptas do "lean".

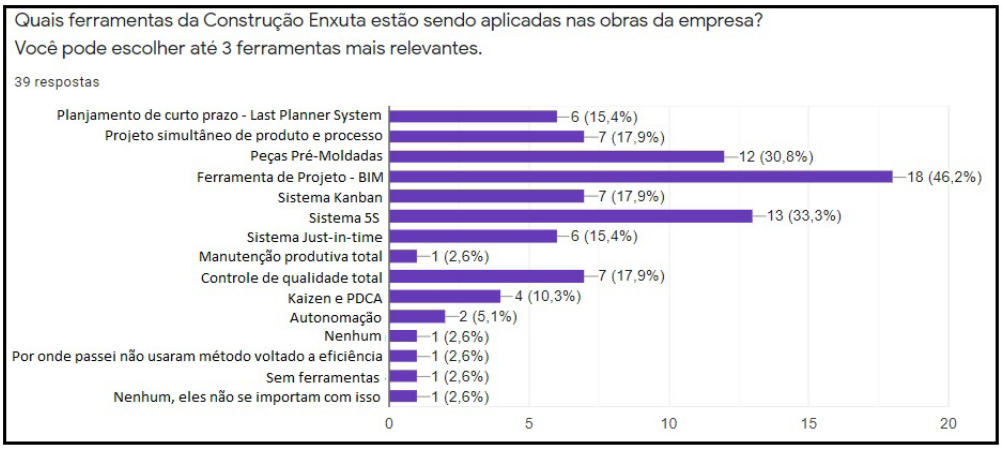


Figura 7
Principais ferramentas enxutas aplicadas nas obras dos entrevistados.

8) Quais os principais benefícios reconhecidos pela empresa ao usar Técnicas Enxutas.

Você pode escolher até 3 benefícios (figura 8).

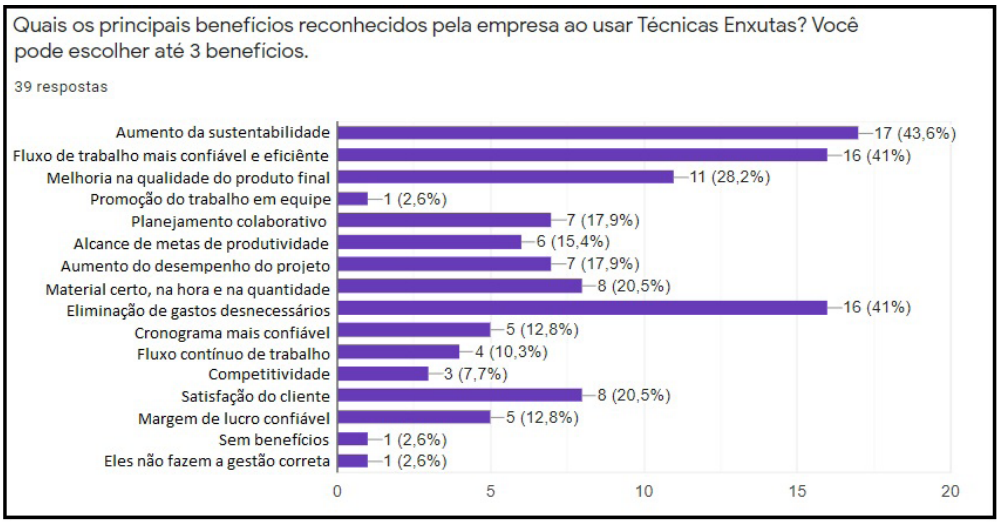


Figura 8
Principais vantagens relatadas pelos entrevistados ao usar técnicas enxutas.

9) Você acredita que a implementação da filosofia da Construção Enxuta é importante para o aumento da eficiência do setor. Analisando aspectos como: custo, qualidade, tempo e sustentabilidade (figura 9).

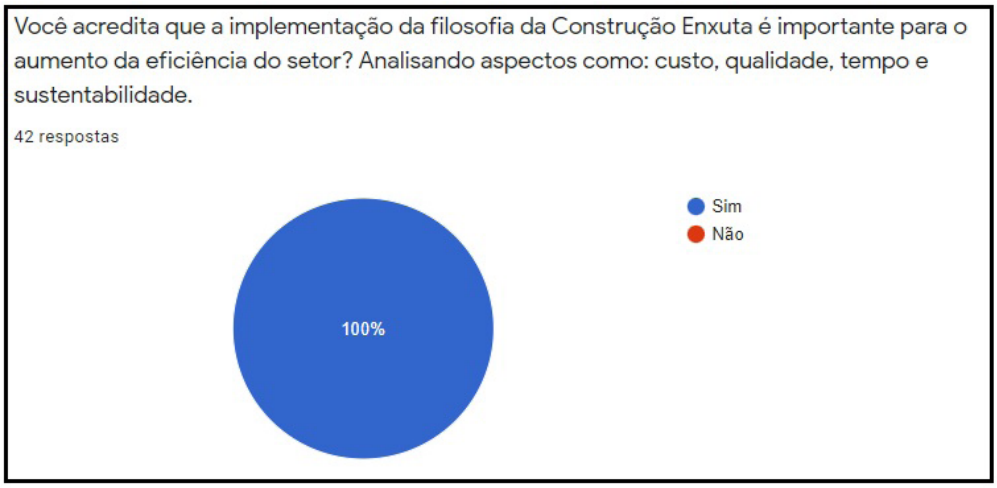


Figura 9
Importância do Lean Construction para aumentar a eficiência do setor da construção.

10) Quais as principais barreiras para que você não esteja implantando esta filosofia de gestão de projetos nas obras. E, caso esteja implementando, quais dificuldades está encontrando. Você pode escolher até 3 barreiras e dificuldades mais relevantes (figura 10).

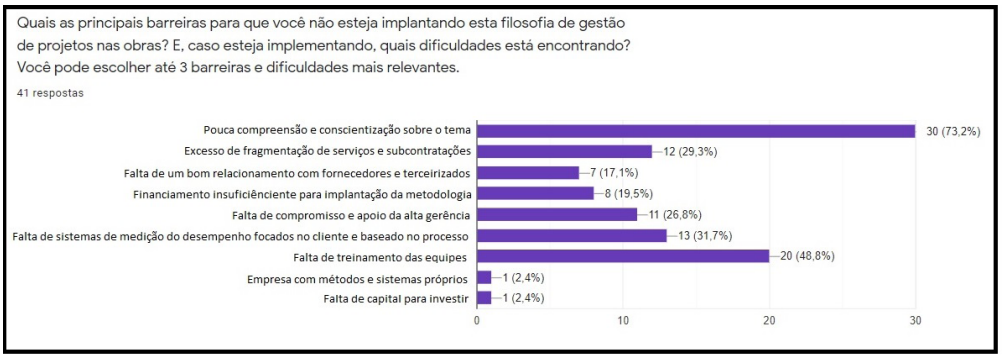


Figura 10
Principais barreiras para usabilidade de técnicas enxutas segundo os entrevistados.

Resultados e discussão

Com relação aos dados obtidos na pesquisa temos que, 71,4% (29 profissionais) dos respondentes estão familiarizados com o tema da Construção Enxuta, demonstrando assim que o tema não é de conhecimento de todos. Nota-se que a maior parte dos respondentes são pessoas que possuem experiência maior do que 5 anos na área da construção civil.

As três principais competências relatadas pelos entrevistados em relação a execução das obras são: gerenciamento de prazo, custo e qualidade. Correspondendo a valores maiores que 48% em cada. Ou seja, representação expressiva da preocupação clássica dos projetos de engenharia civil, já que predominantemente atuam com

o modelo tradicional de gestão de projetos. Apesar deste empenho no tripé custo, prazo e qualidade.

As três principais ineficiências relatadas nas obras dos respondentes foram: retrabalho, erros de projetos e erros de execução. Correspondendo ao mínimo de 48% de expressividade em cada uma. Todas relatadas estão no grupo de Correção de acordo com as 7 classes de resíduos de Al-Aomar [11], que também visualizou esta classe de resíduos como uma das mais expressivas em sua pesquisa. Diante destas ineficiências, os respondentes relataram que as três principais consequências observadas foram: aumento do custo (92,7%), conclusão tardia do projeto (73,2%) e insatisfação do cliente (68,3%). Percebemos assim, o alto impacto no custo relatados por quase todos os respondentes, naturalmente diminuindo o lucro estimado do projeto. Importa salientar que, dentre a ampla gama de ferramentas enxutas, uma das principais ferramentas que visa atuar diretamente em solucionar erros de compatibilidade de projetos e consequente redução de retrabalhos é o uso da ferramenta BIM (Modelagem de Informação da Construção). Adicionalmente sugere-se fazer o uso concomitante de ferramentas de controle de qualidade para evitar retrabalhos devidos a erros de execução.

As três principais ferramentas relatadas pelos respondentes foram: BIM (44,7%), Sistema 5S (34,2%) e peças pré-moldadas (31,6%). Todas com percentuais abaixo de 50%, ou seja, além de usarem poucas técnicas enxutas, as que mais se expressaram ainda estão com baixo números de adeptos. Apesar de poucos adeptos às técnicas enxutas, podemos notar que os três principais benefícios notados ao usarem as três principais técnicas enxutas foram: aumento da sustentabilidade, fluxo de trabalho mais confiável e eliminação de gastos desnecessários. Todas com percentuais acima de 39% cada. Podemos notar que, os benefícios conseguem combater a principal consequência relatadas pelos resíduos dos entrevistados, no caso, a redução da margem de lucro. Além de relatarem que, as técnicas enxutas ajudam na melhoria na sustentabilidade das obras.

Todos os respondentes disseram que, o Lean Construction representa uma boa alternativa para aumentarmos a eficiência do setor em termos de custo, qualidade, tempo e sustentabilidade, apesar de 28,6% não estarem familiarizados com o termo Construção Enxuta. Dessa forma nota-se que, o inquérito teve um impacto positivo na divulgação das boas práticas da filosofia Lean Construction, pois mesmo os que não conheciam completamente, acreditam que a sua implementação aumentaria a eficiência do setor.

Apesar de notório apoio por aplicação de práticas enxutas, 75% dos respondentes disseram que a falta de conhecimento especializado é a principal barreira para implementação da filosofia. Conforme sinalizou Sarhan e Fox [11], barreiras educacionais podem representar uma grande ameaça para a implementação sustentável do LC.

Conclusão

A maioria absoluta dos entrevistados relatam que, há espaço para aprimoramento na gestão de projetos de engenharia civil, principalmente quando focamos em custo, qualidade, tempo e redução de resíduos. A principal insatisfação relatada foi o aumento expressivo de custo e duração dos projetos, cujas três principais causas foram: retrabalho, erros de projetos e erros de execução. Sendo sugerido como solução, o uso concomitante de ferramentas enxutas baseadas em controle de qualidade e BIM, buscando combater retrabalhos causados por erros de execução devido à falta de monitoramento e a falta de compatibilidade em projetos de engenharia (comum devido a cultura de terceirização do setor). Apesar de uma minoria dos entrevistados não estarem familiarizados com o termo "Lean Construction", aqueles que aplicaram alguma técnica enxuta relatam benefícios em termos de sustentabilidade, fluxo de trabalho e redução de custo, impactando positivamente nos principais gargalos relatados. Portanto, para conseguirmos avançar na eficiência e sustentabilidade de projetos de engenharia é preciso mais estudos e disseminação desse conhecimento especializado aos profissionais da área.

Referências

[1] Campos, M. H. A. C. "A construtibilidade em projetos de edifícios para o ensino superior público em Portugal". Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2002.

[2] Piovezan, G. T. A.; Silva, C. E. "Investigação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria-RS: um passo importante para a gestão sustentável". em *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2007.

[3] Matias, J., Cachadinha, N. "Evaluating the potential benefits and challenges of LCadoption in the Portuguese construction industry: a survey study". *Proceedings of the annual conference of IGLC*, Haifa, Israel, pp. 285-295, 2010.

[4] Project Management Institute [PMI]. *Guide to the Project Management Body of Knowledge*: PMBOK Guide 6º Edition. Pennsylvania Newtown Square: Project Management Institute, Inc, 2017.

[5] Clough, R.H; Sears G.A. *Construction Contracting*. 6th Edição., John Wiley and Sons Inc., New York. EUA, 1994.

[6] Koskela, Lauri. *Application of the new production philosophy to constuction*. Stanford Center for Facility Engineering, Technical Report 72, 1992.

[7] Gao S.; Low S. P. L. "The Toyota Waymodel: an alternative framework for lean construction", em *Total Quality Management e BusinessExcellence*. 2013.

[8] Research, M.H.C. "Construction Industry Needs to Make Connection Between Improved Efficiency and Greater Competitiveness", Jacksonville: Close-Up Media, Inc. 2013.

[9] Nahmens, I.; Ikuma, L. H. "An Empirical Examination of the Relationship between Lean Construction and Safety in the Industrialized Housing Industry", em *Lean Construction Journal*, 5(1), 1-12, 2009.

[10] Ogunbiyi O.; Oladapo A. Goulding J. "An empirical study of the impact of lean-construction techniques on sustainable construction in the UK" em *Construction Innovation*. Vol. 14, 2013.

[11] Sarhan, S and Fox, A. "Barriers to Implementing Lean Construction in the UK Construction Industry", *The Built & Human Environment Review*, Volume 6. 2013.

Lean Construction: a necessidade de uma abordagem integrativa

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.12

Juliana Folgosi[1], **Fernanda Ferreira**[2]

[1] *MBA Pecege-USP-ESALQ, Piracicaba, São Paulo, Brasil, ID ORCID 1*

[2] *Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil, ID ORCID 2*

Resumo

Diante da fomentação tecnológica nos mais diversos setores industriais e sua importância mercadológica, buscou-se analisar os fatores que levaram a Indústria da Construção Civil ao baixo índice de investimento em inovações e tecnologia, quando comparada a outros setores, e sua relação com a baixa produtividade e insatisfação dos clientes. Diante dos fatores expostos, propôs-se o "Lean Construction" como opção de filosofia integrativa, buscando-se na literatura evidências de sua aplicabilidade em empresas do setor. Em seguida, iniciou-se estudo de caso em quatro organizações que já utilizam "Lean Construction" em seus projetos e construções. Para o estudo em questão, utilizou-se um formulário baseado na ferramenta "Lean Construction Assessment Tool" [LCAT], o qual foi apresentado à especialistas da construção civil para a coleta de informações referentes às práticas que mais obtiveram sucesso, bem como trazer à tona os benefícios e dificuldades encontradas por essas organizações em suas incorporações. Observou-se que, independente do porte ou segmento da empresa, a filosofia "Lean" contribui de forma significativa para o aumento da produtividade, para o controle de qualidade e na redução dos riscos e desperdícios. Além disso, notou-se através do questionário aplicado, satisfação em se utilizar a mentalidade enxuta para a concepção e controle de grandes projetos.

1. Introdução

Em todo o mundo, entende-se que o reconhecimento da qualidade dos produtos e a maneira como são geridas as cadeias de produção, são fatores determinantes na competitividade entre empresas dentro de uma economia global. No Brasil, a construção civil, apesar de sua alta relevância, é considerada de um setor atrasado em relação a outros setores industriais [1], e quando descritas as causas vinculadas a essa disparidade, cita-se o lento desenvolvimento tecnológico, baixa eficiência produtiva, baixo nível de qualidade do produto final, entre outros. A necessidade de atender às exigências dos consumidores, se adaptar a crescente concorrência e obter um maior controle sobre os custos, tem demandado das construtoras maior valor na aplicação de ferramentas que sistematizem seus processos e aperfeiçoem sua gestão, de forma a se obter um reconhecimento mais assertivo das falhas que ocorrem ao longo do fluxo das atividades.

Frente a esta necessidade, cresce consideravelmente a busca por alternativas para complementar o gerenciamento de projetos tradicional, cujos resultados desejados sejam ainda mais precisos e num espaço de tempo relativamente menor. Gerenciar um projeto é garantir que o mesmo tenha um planejamento de todas as suas fases [2], através do qual é possível estabelecer um parâmetro de acompanhamento contínuo, onde impactos de prazos e/ou custos sejam arquitetados a curto e médio prazo, possibilitando antecipar a manipulação das variáveis e garantir uma execução livre de falhas.

Os conceitos da filosofia "Lean" – desenvolvidos pelo Sistema Toyota de Produção, difundiram-se em organizações de diferentes setores industriais nas últimas décadas e, na indústria da construção civil, são abordados pelo termo "Lean Construction" e tem como percursor Lauri Koskela. Seria o "Lean" capaz de alavancar a produtividade de projetos de construção bem como é observado em outros setores industriais? Quais os fatores que influenciam na inclusão dessa filosofia de gestão e a partir de que momento ela se tornou essencial em empresas construtoras? Esses foram os questionamentos fundamentados pelas autoras com base em uma revisão bibliográfica acerca dos contextos culturais e sociais que levaram a indústria da construção ao "status" que ela se encontra no mercado atual e também a respeito da filosofia "Lean", sua origem e aplicabilidade em empresas construtoras através de quatro estudos de caso em empresas de diferentes portes, segmentos e áreas de atuação dentro do mercado brasileiro de construção civil.

2. Material e Métodos

2.1. Revisão da Literatura

A Indústria da Construção Civil foi capaz de integrar uma série de atividades de diferentes complexidades, com processos variados que se vincularam a diferentes tipos de demanda [3]. Junto a internacionalização das empresas, elevou-se o nível

de conscientização da população pela busca de qualidade e, por consequência, uma maior exigência de satisfação em relação ao empreendimento [4]. Em contrapartida, observou-se, uma conscientização das próprias empresas em relação aos seus clientes, suas necessidades e o importante papel que estes representavam ao mercado da construção.

O setor, no entanto, é apontado como o grande gerador de desperdícios pela enorme quantidade de entulho gerado em seu processo construtivo [5]. Estimou-se, através de pesquisas levantadas em canteiros de obras com empresas que utilizavam o sistema convencional de construção, que o gasto com desperdício poderia alcançar até 30% do custo total da obra [6].

Constatou-se também, que patologias nas construções eram muito frequentes, e que o nível de produtividade em empresas brasileiras era menor que a metade praticada nos países desenvolvidos. Esse conjunto de falhas no processo de produção e no pós-obra, quando convertido em custos, mostrou que as empresas geravam um potencial bastante significativo na redução de custos e aumento da competitividade no setor como um todo, quando o combate ao desperdício se tornava uma prioridade [6].

Outra insatisfação que serviu de motivação aos empresários para se investir em melhorias, foram os métodos construtivos, considerados inadequados e associados à uma cultura de improvisação e desperdício, que apesar de não terem rompido com os métodos tradicionais, buscaram aperfeiçoar e incorporar novas ferramentas para racionalizar a produção e proporcionar uma maior instrumentação ao controle [4]. Demonstrou-se necessário, portanto, uma maior integração projeto-obra e de todos os envolvidos nos processos de construção de um edifício. Para isso, planejamento, disciplina e aceitação por parte de todos os membros da equipe diante da gestão e da elaboração do projeto tornaram-se essenciais.

Para se conduzir um maior entendimento de novos modelos de gestão, alguns estudos foram realizados no sentido de proporcionar um fluxo contínuo de melhorias e de padronização [7]. Esses estudos foram motivados pelo fato de que, em grande parte dos projetos de construção civil, notavam-se discrepâncias entre o projeto e a execução, além do baixo desempenho de qualidade e eficiência do setor.

Observou-se, que não só a tomada de decisões, como a fase de planejamento, eram habitualmente realizadas de maneira informal e, portanto, a retroalimentação das informações sobre o desenvolvimento da obra se dava de forma inconsistente e incompleta, levando a retrabalhos e desperdícios [8]. Em contrapartida, notou-se que empresas enxutas e com boas estratégias de comunicação demonstraram uma maior agilidade de resposta à novas situações [9].

Deste modo, concluiu-se que a função produção das empresas deveria estar preparada para executar seus processos construtivos com qualidade e que esta deveria ser alcançada mediante treinamento da mão-de-obra, uso de ferramentas adequadas e com o desenvolvimento de procedimentos que racionalizassem a produção [10].

Diante do exposto acima, considerou-se a inovação como fator determinante na competitividade entre empresas do setor [10], não só pelo fato deste requisito estar relacionado a melhorias processuais, mas também como fator chave na decisão de clientes que prezam por produtos inovadores e diferenciados.

Como alternativa e proposta para uma ruptura com o modelo tradicional de gestão, passou-se a considerar a integração da filosofia "Lean Construction" [LC] às práticas dos gestores das empresas de construção [10], a qual foi derivada da teoria "Lean" de produção e teve como percursor Lauri Koskela em 1992.

O modelo de processo do LC, proposto por Koskela [11], estabeleceu que um processo consiste num fluxo de materiais (da matéria-prima ao produto final), que por sua vez é constituído por atividades que podem ou não gerar valor, sendo denominadas atividades de fluxo aquelas que não acrescentam valor ao produto final. Após a identificação da cadeia de valor e da redução ou eliminação das etapas vistas como desnecessárias (desperdícios), determinou-se como objetivo, garantir que as etapas restantes fluíssem de forma eficiente e ininterrupta. A vantagem do fluxo contínuo reflete diretamente na qualidade do produto, uma vez que a maior transparência do processo permite que os erros sejam detectados de maneira mais fácil [12].

A avaliação quanto aos princípios "Lean" foi considerada complexa, sendo mais viável a análise de práticas e ferramentas, ainda que a presença destas não signifique real implantação do conceito na cultura das empresas, mas, podem ser compreendidas como indícios da disseminação desses modelos de produção [13]. Seguindo esta mesma ideologia, diversos métodos foram propostos para avaliar o grau de implementação da construção enxuta e, a abordagem mais utilizada, foi a de questionários ou formulários [14].

Frente a esse contexto, foi desenvolvido uma ferramenta chamada "Lean Construction Assessment Tool" [LCAT], através da qual buscou-se aferir, a partir de outros métodos já desenvolvidos, o nível de implementação com base na avaliação da aplicação de práticas da construção enxuta em empresas com o Sistema de Gestão da Qualidade já consolidado, almejando a melhoria contínua de seus processos [14]. O rigor matemático e estatístico utilizado para a elaboração do formulário de avaliação, além da escolha das práticas presentes em sua versão final, possibilita sua utilização em diferentes contextos e por qualquer empresa construtora.

2.2. Os estudos de quatro empresas de construção civil

Os estudos dos quatro casos basearam-se na aplicação de um formulário desenvolvido com base na ferramenta LCAT [14], através do qual foram analisadas práticas e ferramentas utilizadas pelas empresas, bem como os benefícios e dificuldades encontradas na incorporação do "Lean" dentro das organizações.

A seleção das empresas que participaram do estudo, foi feita por amostragem não probabilística intencional, ou seja, não foram utilizados meios estatísticos para a

escolha dos participantes, e essa se deu exclusivamente através de julgamento das autoras da pesquisa e critérios específicos estabelecidos, em práticas de gestão e operação da empresa:

- Que possuísse técnicas e ferramentas de "Lean Construction" consolidadas em práticas de gestão e operação da empresa;
- Sistema de Gestão da Qualidade certificado;
- Critérios definidos para a seleção de fornecedores;
- Controle de entrega de materiais quanto atendimento às especificações e qualidade;
- Processo de Planejamento e Controle de Produção formalizado;
- Plano de longo prazo transparente;
- Fluxo geral de atividades definido;
- Departamento interno de Gestão de Projetos;
- Processo de verificação de projetos quanto à qualidade e especificações.

A pesquisa contemplou uma única etapa, através da qual os entrevistados receberam por e-mail uma planilha em MS Excel® v. 2010 contendo o Questionário inicial (Tabela 1) seguido do Formulário de Aplicação (Tabela 2). Visitas presenciais foram descartadas devido a pandemia de Covid-19. As empresas participantes da pesquisa são construtoras, incorporadoras e prestadoras de serviço do segmento residencial e de infraestrutura da construção civil, de diferentes portes, atuantes fora e dentro do Brasil. Foram quatro empresas entrevistadas, denominadas pela autora de A, B, C e D. O questionário inicial de perfil, ilustrado na Tabela 1, teve como objetivo coletar informações básicas a respeito das empresas. Em seguida e, através do Formulário de Aplicação (Tabela 2), foram identificadas as práticas e ferramentas utilizadas em suas corporações.

Tabela 1
Questionário inicial.

Questionário de perfil da empresa
Área/ departamento de atuação:
Porte da empresa:
Segmento de atuação:
Certificações:
Declara que aplica construção enxuta? (sim/ não)
Qtd. de obras em andamento:
Qtd. de obras adeptas à filosofia Lean:
Região/cidade em que estão localizadas:
São identificados benefícios na aplicação da filosofia Lean na gestão do empreendimento? Quais?
Existem dificuldades na implantação dessas metodologias? Quais?

Das quatro empresas entrevistadas, todas identificaram benefícios na integração do "Lean" no gerenciamento de seus empreendimentos e apenas a empresa C não apontou nenhuma dificuldade em sua aplicação. A empresa D, quando questionada sobre os benefícios de sua incorporação, não só afirmou que está implantando em praticamente todas as áreas de interface com a obra, como se referiu a elas como "verdadeiras fábricas". Concluiu-se, através dessa comparação, que houve a conscientização das empresas em relação à necessidade de se investir em processos cons-

trutivos mais mecanizados, como já observado [15]. Além disso, foi possível notar a motivação por parte dos empresários em provar que o setor é capaz de alcançar a modernização já vista em outros setores industriais, mencionada em pesquisa [4]. Em contrapartida, foram encontradas dificuldades em sua aplicação, exceto para a empresa C, que afirmou ter instituído o "Lean Construction" a partir da necessidade da companhia de se reinventar perante o mercado. Outra afirmação feita pela empresa C, foi que todos os seus funcionários são treinados a vivenciar a cultura "Lean", o que enfatiza a afirmação de que a qualidade na execução dos processos de construção só seria alcançada mediante treinamento da mão-de-obra, uso de ferramentas adequadas e procedimentos que racionalizassem a produção [10]. Para a empresa D, dificuldades são comumente encontradas em novos projetos, porém enfatizou-se que, a existência de uma equipe especializada ao "Lean" dentro da organização e voltada ao apoio de novos projetos, faz com que todas as barreiras encontradas sejam possivelmente transpostas e solucionadas.

A existência de uma equipe especializada em "Lean" dentro da organização D, descaracteriza o princípio de redução do tempo de ciclo e de equipes auto dirigíveis, o qual visa reduzir a dependência de terceiros nas tomadas de decisões, sendo necessário, capacitar as pessoas que trabalham diretamente dentro do fluxo [11].

Sobre o Formulário de Aplicação (Tabela 2) observam-se perguntas sobre a Gestão da Qualidade, a Gestão de Suprimentos, o Planejamento e Controle da Produção e sobre Gestão de Projetos.

Tabela 2
Formulário de aplicação.

	Formulário de aplicação
Preencha com "s" quando praticado e "n" quando não praticado em cada um dos itens abaixo	
Marque com um "x" quando não souber responder ou se a empresa não possuir os pré-requisitos necessários para se submeter a avaliação	
Gestão da Qualidade	
Pré-requisito 1: Sistema de Gestão da Qualidade certificado	
Critério 1	Treinamento dos funcionários
C 1.1	Treinamento para executar procedimentos levando em conta requisitos de qualidade
C 1.2	Capacitação para controlar qualidade da própria atividade
C 1.3	Desenvolvimento de funcionários multifuncionais
Critério 2	Solução de problemas
C 2.1	Grupos de solução de problemas na obra
C 2.2	Padrão a ser seguido para identificação de causas raízes
C 2.3	Causas raízes identificadas entram em um ciclo PDCA
Critério 3	Organização do ambiente de trabalho e canteiro de obras
C 3.1	Dispositivos visuais para promover a facilidade de identificação de documentos, projetos
C 3.2	Dispositivos visuais para promover a facilidade de acesso e identificação dos ambientes
C 3.3	Vias de circulação de pessoas identificada
Gestão de Suprimentos	
Pré-requisito 1: Critérios definidos para a seleção de fornecedores	
Pré-requisito 2: Controle de entrega de materiais quanto atendimento às especificações e qualidade	
Critério 1	Controle de estoque e armazenamento de materiais
C 1.1	Controle de estoque contemplando a entrada e saída de materiais
C 1.2	Padrão de estocagem e manuseio dos materiais no canteiro de obras
C 1.3	Identificação visual dos pontos de reposição de estoques
Critério 2	Solução de Problemas
C 2.1	Estudo do local de armazenamento do material considerando sua tecnologia de entrega
C 2.2	Layout do canteiro definido considerando as diferentes etapas da obra, contemplando locais de armazenamento e de transporte
C 2.3	Controle do espaço físico considerando o tempo de entrega dos materiais
Critério 3	Controle de custos na cadeia de suprimentos
C 3.1	Perdas em transporte, armazenamento e inspeções de materiais quantificadas
C 3.2	Perdas em transporte, armazenamento e inspeções de materiais quantificadas monetariamente
C 3.3	Metas para a redução de custos das atividades de transporte, armazenamento e inspeção de materiais
Planejamento e Controle da Produção	
Pré-requisito 1: Processo de Planejamento e Controle da Produção formalizado	
Pré-requisito 2: Plano de longo prazo transparente	
Pré-requisito 3: Fluxo geral de atividades definido	
Critério 1	Planejamento de curto prazo
C 1.1	Mapeamento com determinação das atividades de cada equipe em cada dia de trabalho, contemplando local e insumos a serem utilizados
C 1.2	Gráfico de balanceamento de operação para atividades que estão no caminho crítico
C 1.3	Tabela de Trabalho Padronizado Combinado para atividades que estão no caminho crítico
Critério 2	Mapeamento do fluxo de valor
C 2.1	Processo de mapeamento do fluxo de valor para um grupo de atividades ou do empreendimento como um todo
C 2.2	Estratégia da empresa para reduzir parcela das atividades que não agregam valor
Critério 3	Controle de produção
C 3.1	Indicadores para avaliar o cumprimento do prazo da obra
C 3.2	Dispositivos visuais para disseminar informações de planejamento e controle da obra
C 3.3	Ferramentas de controle da produção em tempo real
Critério 4	Controle de custos
C 4.1	Perdas nos processos produtivos são quantificadas
C 4.2	Perdas são quantificadas monetariamente
C 4.3	Indicadores de metas para reduzir os custos da obra
Gestão de Projetos	
Pré-requisitos 1: Departamento interno responsável pela gestão de projetos	
Pré-requisitos 2: Processo de verificação de projetos quanto à qualidade e especificações	
Critério 1	Planejamento do desenvolvimento de projetos
C 1.1	Planejamento geral do desenvolvimento dos projetos
C 1.2	Planejamento semanal das etapas do desenvolvimento de projetos
Critério 2	Compatibilização e validação de projetos
C 2.1	Verificação de compatibilidade entre projetos antes da aprovação para execução
C 2.2	Comunicação direta entre projetistas durante desenvolvimento dos projetos
C 2.3	Utilização do BIM em projetos para compatibilização entre projetos
Critério 3	Identificação do valor requerido pelo cliente
C 3.1	Realização de análises de mercado para levantar requisitos esperados pelo público alvo
C 3.2	Pesquisas de satisfação de clientes em relação a itens de desempenho do projeto
C 3.3	Feedback aos projetistas após pesquisa de satisfação dos clientes
C 3.4	Testes de novos itens com utilização de realidade aumentada com clientes potenciais
Critério 4	Identificação de problemas em projetos
C 4.1	Problemas causados por erros de projetos são identificados
C 4.2	Comunicação direta entre projetistas e engenheiros de obra durante execução
C 4.3	Feedback dos problemas encontrados aos projetistas após execução do empreendimento
C 4.4	Metas para redução de problemas causados por erros de projetos

No Formulário de Aplicação (Tabela 2), a primeira das categorias avaliadas – Gestão da Qualidade, possui nove práticas e foi a que obteve maior adesão entre as empresas entrevistadas. As práticas analisadas estão relacionadas aos critérios de: 1 – treinamento dos funcionários, 2 – solução de problemas e 3 – organização do ambiente de trabalho e canteiro de obras, obtendo resultados mais satisfatórios, o critério de solução de problemas (critério 2), que envolve as seguintes ferramentas: grupos de solução de problemas na obra, padrão para identificação de causas raízes e ciclo

PDCA. A necessidade de grupos de solução de problemas foi devido à dificuldade de comunicação presente nas organizações tradicionais [11] e [16].

A segunda categoria avaliada diz respeito a Gestão de Suprimentos, e nela avaliou-se a preocupação que as empresas têm em relação ao gerenciamento do espaço físico para armazenamento, entrada e saída dos materiais e o controle de custos envolvidos em toda a logística da cadeia. Além da maior assertividade em relação ao melhor momento de compra e recebimento de materiais e do controle de qualidade, requerido por organizações com modelos tradicionais de gestão, percebeu-se principalmente nas empresas de maior porte C e D uma maior preocupação em controlar os custos envolvidos com perdas relacionadas às atividades de fluxo, que são aquelas que não geram valor [11] e [16], princípio denominado redução das parcelas de atividades que não agregam valor.

No "Lean Construction", o princípio de racionalização das movimentações e estoques, fundamenta-se na busca precisa dos recursos para a execução de determinada etapa da construção e tem como método o chamado "Just in Time" e a utilização de ferramentas como o "kanban". Esse termo baseia-se na ideia de que nenhum produto deve ser comprado, transportado ou até mesmo produzido sem que haja procura e demanda.

Em seguida, avaliou-se o Planejamento e Controle da Produção, área da gestão em que todas as empresas se consideraram aptas diante dos três pré-requisitos apresentados, sendo eles: processo de planejamento e controle de produção formalizado, plano de longo prazo transparente e fluxo geral de atividades definido. No geral, esta foi a área da gestão que obteve o resultado mais satisfatório da pesquisa, levando-se em consideração o atendimento dos pré-requisitos pelas quatro empresas estudadas e o alto grau de adesão das práticas e ferramentas apresentadas, as quais, principalmente nas empresas B, C e D, demonstram grande aceitação.

O que se vê, conforme os resultados obtidos, confirma a análise feita de que as empresas passaram a investir na maior transparência dos processos em busca de facilitar a identificação de falhas e de obter mais clareza sobre o fluxo de produção [12]. Essa clareza permite que as devidas correções sejam feitas no momento adequado e que melhorias sejam desenvolvidas e constantemente aperfeiçoadas.

Por último, analisou-se a Gestão de Projetos, cujas práticas não foram assinaladas pela empresa A em nenhum dos critérios apresentados. Apesar disso, as empresas B, C e D afirmaram fazer uso de todas as ferramentas e práticas que constavam na pesquisa, exceto a utilização do "Building Information Modelling" (BIM) pela empresa D para a compatibilização de projetos.

A definição enxuta de projeto, compreende o envolvimento de representantes de todas as etapas de ciclo do projeto, para que haja o alinhamento de valores e critérios antes mesmo do início da produção [17]. Notou-se, com as respostas obtidas dos critérios 1, 2 e 4, que o gerenciamento dos empreendimentos nas empresas B, C e D já possuem um sistema de comunicação mais direto entre projetistas e as equipes

de execução, além de ferramentas que as possibilitam validar e compatibilizar os projetos antes de sua iniciação.

A identificação do valor requerido pelo cliente, abordado pelo critério de número 3, também faz referência aos princípios "Lean" de produção e já é uma prática observada nessas três organizações. As filosofias convencionais de produção tendem a diminuir o papel do cliente, visto que eles não são identificados em muitos dos processos [11]. Essas melhorias, em conformidade com os requisitos do cliente, são buscadas também por avaliações pós-ocupação e, segundo os entrevistados, já são também realidade dentro destas empresas.

Percebeu-se que a empresa com menor desempenho na pesquisa foi a empresa A, por se ausentar da aplicação em duas das quatro áreas de gestão analisadas. Ainda assim, destacou-se o fato de a empresa - de pequeno porte e fundada em 2019 - já ter critérios de Gestão da Qualidade e Planejamento e Controle da Produção muito bem definidos, permitindo-se a interpretação de que a empresa em questão já nasceu com a filosofia "Lean" incorporada à sua cultura.

3. Conclusão

Notam-se dificuldades em disseminar a filosofia àquelas equipes que já vinham sendo geridas através de práticas convencionais de gestão, mas percebe-se que barreiras para a inovação e para o uso de ferramentas mais assertivas e consolidadas em outros setores industriais não mais existem para aquelas organizações cuja mentalidade enxuta já faz parte de sua cultura. O "Lean" mostrou-se eficiente nas questões que mais envolvem críticas à indústria da construção, que são: o desperdício exacerbado, prazos que fogem ao cronograma, processos sem transparência, falhas de comunicação e qualidade abaixo do esperado pelos clientes finais. Todavia, a ferramenta desenvolvida para a pesquisa, não abordou fatos comprobatórios e nem mesmo fontes de evidências que pudessem conduzir o entrevistado ao seu preenchimento, tornando-a carente de uma abordagem mais aprofundada e de caráter qualitativo, onde fosse possível mensurar os ganhos obtidos, suas causas e efeitos. Para muitas referências, o BIM antecipa os processos decisórios da produção para o projeto virtual, sendo uma ferramenta de análise de alternativas de design, incluindo também as alternativas gerenciais da produção, tudo isso antes da construção real. E diante disso, como consolidar o BIM sem uma filosofia de inovação para a produção da obra? Os princípios do "Lean" de produção podem ser um começo para isso.

Referências

[1] C. T. Formoso, A. L. R. Abitante, L. R. F. Brush, "Desenvolvimento de um sistema de gestão da qualidade e produtividade em empresas de construção civil de pequeno porte," in *II Seminário qualidade na construção civil – gestão e tecnologia*, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, BR, 1993, pp. 53-95.

[2] C. Limmer, *Planejamento, orçamento e controle de projetos e obras*. Livros Técnicos Científicos [LTC], 1997.

[3] O. J. Oliveira, "Sistemas de qualidade na indústria da construção civil," *Revista Pensamento e Realidade,* vol. 8, pp. 27-47, 2001.

[4] L. S. Scardoelli, "Iniciativas de melhorias voltadas à qualidade e da produtividade desenvolvidas por empresas de construção e edificações," Dissertação de Pós Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, BR, 1995.

[5] O. F. O. Balarine, "Determinação do impacto de fatores socioeconômicos na formação do estoque habitacional em Porto Alegre," Tese de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, BR, 1995.

[6] F. A. Picchi, V. Agopyan, "Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios," Tese de Doutorado em Engenharia Civil, São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, BR, 1993.

[7] G. Ballard, L. Koskela, "On the agenda of design management research," in *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção,* Curitiba, Paraná, BR, 2002, pp. 1-8.

[8] A. P. S. Santos, J. P. Barros Neto, "Estudo exploratório da prática do desenvolvimento de estratégias em empresas de construção civil," in *6ª Conferência Anual do Grupo Internacional de Construção Enxuta*, Guarujá, São Paulo, BR, 1998, pp. 1-13.

[9] J. P. Barros Neto, "Proposta de formulação de estratégias de produção para pequenas empresas de construção habitacional," Tese de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, BR, 1999.

[10] C. T. Formoso, J. P. Barros Neto, J. E. Fensterseifer, "Os critérios competitivos da produção: um estudo exploratório na construção de edificações," *Revista de Administração Contemporânea,* vol. 7, pp. 65-87, 2003. doi: 10.1590/S1415-65552003000100004.

[11] L. Koskela, 1992, Application of the new production philosophy to construction, CIFE Technical Report, acesso em 10 de abril, 2020, https://www.leanconstruction.org/media/docs/Koskela-TR72.pdf.

[12] P. C. Arantes, "Lean construction: filosofia e metodologias," Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Porto, Universidade do Porto, Porto, PT, 2008.

[13] M. S. Nogueira, T. A. Saurin, " Proposta de avaliação do nível de implementação de típicas práticas da produção enxuta em uma empresa do setor metal--mecânico," *Revista Produção,* vol. 8, pp. 2-28, 2008. doi: 10.14488/1676-1901.v8i2.115.

[14] C. Camargo Filho, "LCAT: Ferramenta de avaliação da Implementação da construção enxuta," Dissertação de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiás, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, BR, 2017.

[15] I. A. Lorenzon, R. A. M. Martins, "Discussão sobre a medição de desempenho na Lean Construction," in *Simpósio de Engenharia de Produção*, Bauru, São Paulo, BR, 2006, pp. 13.

[16] C. T. Formoso, 2000, Lean construction: princípios básicos e exemplos, Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, acesso em 18 de maio, 2020, https://www.leansixsigma.com.br/acervo/2011520.PDF.

[17] L. Koskela, G. Ballard, G. Howell, I. Tommelein, , 2002, The foundations of lean construction. Design and construction: building in value, Butterworth Heinemann, acesso em 18 de maio, 2020, https://leanconstruction.org.uk/wp-content/uploads/2018/09/Koskela-et-al.-The-foundations-of-lean-construction.pdf. doi: 10.4324/9780080491080.

Real world lessons that can assist construction organisations in implementing BIM to improve the OSH processes

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.13

Manuel Tender[1], Paul Fuller[2], Alex Vaughan[3], Marc Long[4], João Couto[5], Peter Damien[6], Vivien Chow[7], Firmino Silva[8], Francisco Reis[9], Ricardo Reis[10]

[1] *ISLA-Polytechnic Institute of Management and Technology, School of Technology, Vila Nova de Gaia, Portugal / ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, ID ORCID 0000-0002-3494-294X*

[2,6,7] *University of Loughborough, Loughborough, United Kingdom, ID ORCID 0000-0003-1002-6311, 0000-0001-8391-8690, 0000-0001-5109-9061, 0000-0002-3660-010X*

[3,4] *Ferrovial / Laing O' Rourke Joint Venture, London, United Kingdom*

[8] *ISLA-Polytechnic Institute of Management and Technology, School of Technology, Vila Nova de Gaia, Portugal, ID ORCID 0000-0002-7489-7565*

[5] *School of Engineering, University of Minho, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0001-9607-0596*

[9] *BIMMS Management, Porto, Portugal*

[10] *Xispoli Engineering, Braga, Portugal*

Abstract

Changing the way OSH management is performed with BIM is relevant. Several authors propose that real world cases need to be studied as there are few examples of studies covering BIM implementation for OSH. The UK PAS1192:6 introductory standard indicated some of the requisites and approaches to implementing BIM for OSH. Lessons from projects that have already implemented PAS 1192:6 will provide valuable inputs. This paper explores the stakeholders' perceptions about benefits and barriers of adoption of BIM for OSH purposes using examples from a complex large project (Thames Tideway Tunnel). The methodology adopted was a survey of 39 project participants. The study focused on the following areas: collaboration, risk assessment, training and awareness, inspection of workplaces, work accidents, budget control, error detection, liaison between logistics and productivity. The implementation of the new BIM based approach to construction OSH management in this project

shows that there is a very positive vision, namely in areas of risk assessment and training, in terms of the improvement of OSH management as well as of optimization of times and costs, better liaison between OSH and production, with increased production efficiency. This can potentially lead to a paradigm shift in OSH management in large projects.

1. Introduction

1.1. Background and justification

Research into BIM for OSH is justified by key technical and scientific factors and gaps, witnessed by the authors in their day-to-day professional activities, and which are shown below:

1) **Underground works** – although underground works have been carried out for several thousands of years, the scope and scale has increased exponentially in recent years. They have been critical to development of the central infrastructure of cities and urbanized areas [1]. There is an undeniable link between population growth and the development of underground infrastructures. Underground infrastructure can improve mobility, quality of life and ultimately social sustainability of the city's inhabitants; concomitantly, as a city's population grows it presents an opportunity to install infrastructure systems which are more economically feasible and environmentally sustainable [2].

2) **High accident rates on construction sites** – These continue to persist despite several evolutions in the improvement of construction processes. Factors contributing to high accident rates include the increasing complexity of site operations and increasing fragmentation in the supply chain and subcontractors. Safety statistics for construction indicate high fatality, injury and illness rates all over the world both in the construction phase and in the maintenance phase, with a considerable financial and logistical impact on companies, and with short, medium and long-term repercussions.

3) **Risks in tunnelling** – Tunnelling risks are as extensive as those involving works above the surface, or even more [3]. Tunnelling works are prone to several types of emergency situations, particularly collapse, electrification/electrocution, being hit by a vehicle, roadway accidents, intoxication and lack of oxygen.

4) **Lack of BIM adoption in OSH settings**: Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) Industry is experiencing changes influenced by the need for improving methods to complete ever more complex projects with increasingly strict budgets, faster pace of construction and higher quality. However, although there has been a broad increase in the area of OSH, BIM does not yet have the prominence it has in other disciplines. Additionally, there are no published cases of a practical application of BIM in OSH at a real-life, complex construction project (note that NBS Digital Construction Report 2021 focus, in a global approach, that "there isn't clarity

among all professionals in terms of what they need to do in order to play their part in creating the golden thread of information" [4]).

5) **Past research points to the need to explore practical cases** – tests should address and clarify the various perspectives that are still existing internationally, namely in PAS1192:6 [5]; further research is needed to explore the advantages of using BIM for OSH using suitable case studies [6]; there should be a focus on detecting barriers, in order to try and find solutions for them [7]; there is incomplete technology transition from construction safety research into practice [8]; and there is a gap between the theory and realized benefits at the application stage by industry [9].

1.2. Gaps and objectives

According to the technical gaps which show that there is a need for further studies, based on real cases, that will demonstrate the most adequate way to integrate OSH technical information with modelling software. The main objective of this study is to understand experts perceptions regarding the integration of OSH management with BIM in a large and complex project which takes into account the requirements of PAS1192:6 [10]. Providing construction stakeholders with information to improve OSH management along with identifying key benefits and barriers that will improve knowledge. This in turn will lead to increased adoption of BIM solutions, especially amongst smaller contractors who are typically more likely to be resistant to change [4]. In this way, safety performance throughout the industry should be improved.

The following section outlines a literature review of the theme, whilst Section 3 presents the approach and methodology to the research and Section 4 provides the results, demonstrating the feasibility and effectiveness of the concept. Section 5 covers the conclusions, explores limitations, and explains future trends.

2. Literature review

The attempt to improve OSH working conditions through BIM tools is an increasingly clear trend worldwide [11]. The advantages emerging in the literature are listed below:

- Improved risk detection in design phase [8];
- Faster notification about the risks that could not be avoided in the design phase as well as the corresponding preventive measures and conditions on the site and surrounding area [12];
- 3D tools are more effective for OSH than 2D static drawings, given they adequately simulate actual working conditions, allowing visual assessment of working conditions [13];
- A better identification of hazards and risks namely identification of zones or time periods where there is a higher level of risk [12] has improved risk management;

- Improves the capacity of identifying, anticipating and minimizing risks and conflicts before the onset of problems on the construction site, as facilitator for better identification of hazards and risks and allowing immediate problem solving [14], saving time and costs;
- Improved visualization and early simulation of working conditions [13] which facilitates the identification, anticipation, and minimization of risks before problems appear on the ground;
- The integration of safety planning and project planning which enables safety managers to recognize when, where, and why safety measures on the safety plans must be used [15];
- It corresponds to faster access and dissemination of information [16], with the ability to easily cross the linguistic barrier, improving training actions and communication between participants, the outputs being easily utilized for training purposes [17];
- It can increase the risk recognition capacity of workers, which makes the real--time communication between safety managers and workers more effective and, by so doing, reduce the probability of accidents [18];
- It enables a detailed analysis of the construction site logistics, which can be used to enhance the flows of materials and equipment, optimizing the space available at the construction site, and improve safety conditions [19];
- It allows a spatial and temporal simulation of construction site and tasks in progress, optimizing planning, improving logistics and productivity, and allowing a more efficient analysis of problems and potentially reducing costs and waste of time [16];
- The upfront simulation of the sequence of tasks leads to the early identification of various scenarios, with their opportunities and problems, allowing for the evaluation of advantages and disadvantages of each scenario [8];
- It helps the planning of tasks, in particular regarding constructability – which is typically not considered enough - as well as the necessary resources for each one, reducing the number of possible errors in the project [14];
- It allows for the comparison between what is planned and what is done, within the scope of OSH e.g., setting up of collective protection;
- It allows for a swift translation of planning changes into safety-related changes [11];
- Facilitates the task of inspecting workplaces [14];
- A reduction in the time spent in quantity take-off and estimation from weeks to minutes [20];
- It allows for an easier correction of costs and budgets whenever a change is made in the project in terms of construction solutions, materials, equipment, and labor, among others [21];
- It is possible, at any time and at any stage of the work, to know what material is needed, as well as to foresee the estimated final cost related to each activity [11].

Based in the literature review, next section will explore how these different uses of BIM where understood by stakeholders in a large and complex project.

3. Methodology

3.1. Presentation of case study

The research is based on the FLO JV on the Thames Tideway Tunnel (Tideway) super sewer project based in London, UK. This project was selected because:

a) This is the biggest infrastructure project (£4.2 billion pounds) ever undertaken by UK water industry and one of largest in Europe;
b) There are some excellent examples of management of the issues covered by the research;
c) The project stakeholders' perspective include researching innovative technologies as a way of improving cost-effectiveness, productivity and quality of work delivered.

Underneath London lies a sewerage network, designed in the Victorian Era by Sir Joseph Bazalgette. Even though the sewer structure is still in good condition, despite its age, it has a shortcoming – due to the increase of people, it spills millions of tons of sewage into the tidal section of the Thames every year, polluting the river. Tideway addresses this problem by providing a new "super sewer" infrastructure for London which aims to reduce the current number of discharges of effluent into the River Thames. This will dramatically improve the water quality of the River Thames and give the city a wastewater system it can rely on for the next 100 years. The scheme is designed to intercept existing sewer outfalls located along or adjacent to the river with the construction of new interception chambers and shaft structures built into the foreshores on or adjacent to the existing river wall combined sewer overflows. The main transfer tunnel is 25km long and 7.2m internal diameter located predominantly beneath the central section of the River Thames and will connect to 34 of the most polluting combined sewer overflows. Construction commenced in 2017 with completion scheduled for 2023. The Tideway project has been let as three distinct contracts for three Main Work Contractors comprising Central, East and West. A Ferrovial Agroman UK and Laing O' Rourke Construction joint venture (FLO JV) will be undertaking the central section of the Tideway scheme as Principal Contractor and Designer. This section measures 12.7 kilometers in length and is the largest of the tunnel's three sections with a contract value of 746 million pounds (Eur1,050 million). The Central Section of the Thames Tideway Tunnel project has 24 construction sites and is illustrated in Figure 1.

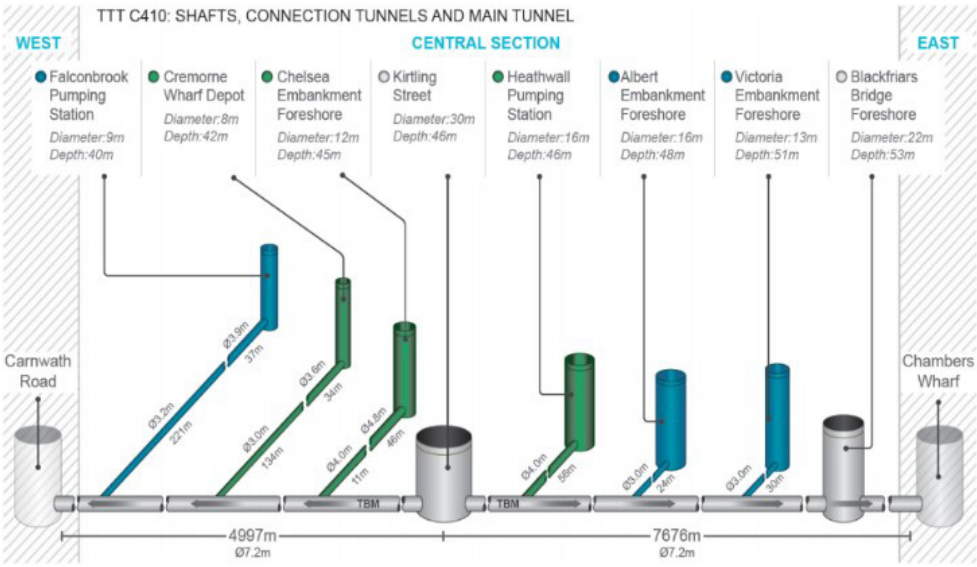


Figure 1
Tideway map.

The central section has eight construction sites which include a total of 26 shafts with depths varying between 10 and 70 meters. Tideway, as Project Owner, has the aspiration to deliver a transformational approach to OSH which enables the sharing of best practice to deliver OSH performance better than anything else that is currently experienced in construction [22]. FLO, as a contractor, is taking steps to ensure that workers leave the project with a good understanding of OSH management and an ability to implement some of the transformational approaches they have experienced on other projects. Both Tideway, as a Project Owner, and FLO, as a Main Contractor, adopted BIM as a management tool.

The focus of the research is based on actual OSH BIM approaches that the FLO JV has used on the Tideway project. The research covers the design and construction phases, and it should be noted that their BIM approach was not only applied to H&S issues. In this research an online survey was chosen as the data collection vehicle as it had the capability of reaching a high number of respondents, provided anonymity, gave respondents the choice of when it was competed (within the target timeframe) and did not expose respondents to influences from the questioner. The questions were crafted after analyzing the gaps identified in the literature review in order to obtain data to assess the impact of using BIM on OSH. The questionnaire was reviewed by two highly experienced technicians to provide internal validity and to provide feedback to improve the questionnaire. A survey with closed-answer questions was developed. It was drafted a multiple-choice survey ranging from “1 - strongly disagree” to “5 - strongly agree”. The survey asked respondents to rate their agreement with the following statements: How would you rate your agreement with the phrase: S1-“BIM aids the anticipation and improvement of risk identification”; S2-“BIM facilitates risk assessment”; S3-“BIM helps to identify, implement and monitor preventive measures”; S4-“BIM provides faster access to information and improves dissemination”; S5-“BIM improves the quality of training activities”; S6-“BIM has the ability to easily cross the linguistic barrier”; S7-“BIM facilitates the task of inspecting workplaces”;

S8-"BIM assists in the investigation of accidents"; S9-"BIM helps to control budgets/costs related to risk prevention"; S10-"BIM improves logistics and productivity"; S11-"BIM helps to save time"; S12-"BIM optimizes collaboration"; S13-"BIM enables better management"; S14-"BIM reduces the number of possible conflicts and errors"; S15-"BIM help to integrate production planning and risk prevention"; S16-"The launch of the PAS 1192:6 standard has affected the way Health, Safety and Well-Being was managed"; S17-"BIM tools available for Health, Safety and Well-Being are sufficient and adequate"; S18-"Adopting BIM has increased coordination of OSH documents"; S19-"BIM has reduced occupational risk levels". The panel of respondents of survey (56) was composed by research team with FLO JV and the selection criteria requiring respondents to have at least 2 years of experience in the field of construction and be currently working in Tideway project. Participation in the survey was voluntary and anonymous. The survey was implemented between April and September 2021. It was obtained 39 full and valid answers of a total of 56. All requirements need were verified in order to confirm the validated answers. 30% are Site tunnel/SCL/interface or civil Engineer, 32% are OSH Manager, Head, Director, Leader, Manager or Technician, 26% are BIM Specialist, Coordinator, Manager or Modeller, 7% are Environmental/Quality Engineers, 5% are Project Owner Representative or Program Director. This split was there to give a general idea of the split in the roles of the respondents in terms of BIM vs OSH. However, all respondents are OSH related.

4. Results and discussion

The results were analyzed in an aggregate method that did not differentiate the work areas of respondents. The results obtained in the survey are presented, analyzed and discussed below.

Figure 2 illustrates the results obtained in survey.

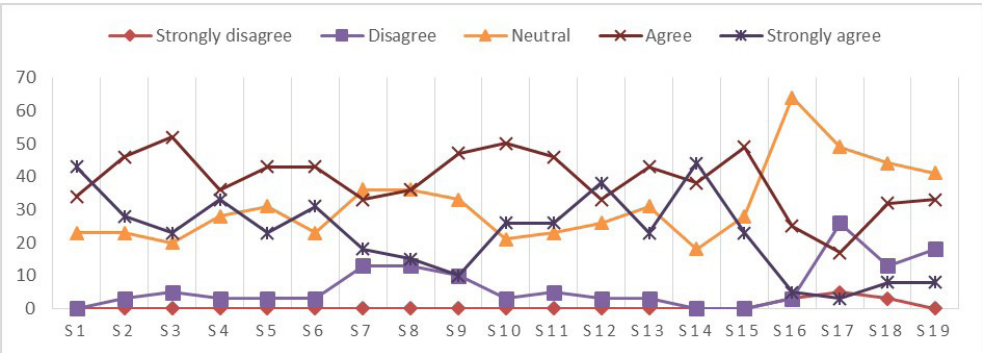


Figure 2
The results obtained in survey (in percentage).

The results are examined by analyzing each answer and discussing the likely reasons for the percentage obtained. In the majority of the questions, most of the respondents agreed with the sentences, confirming that using BIM for OSH purposes is a good option. They, therefore, provide good insights into the validity, feasibility and suitability of the use of BIM for OSH.

S1 – BIM aids the anticipation of risks and therefore improvement in risk identification

Most respondents (77%) agree / strongly agree and 23% are neutral. This result confirms that risk identification is one of the more important features of BIM use in OSH management. The perception of respondents reflects the case that the project was delivered using 3D and 4D models both for permanent works and temporary works (i.e. cofferdams). This enabled the scenario-testing of construction sequences including plant movement and safe working zones. This result can also be a positive sign for the potential of using BIM for OSH in design phase.

S2 – BIM facilitates risk assessment

The majority of respondents (74%) agree/strongly agree and 23% are neutral. From this it may be the case that BIM is seen as a facilitator of the production and dissemination of Construction Phase Risk Assessments and Method Statements. This is enhanced with the use of 4D BIM. This shows that risk management is being carried out differently which supports the use of a BIM based approach.

S3 – BIM helps to identify, implement and monitor preventive measures

Most respondents (75%) agree/strongly agree and 20% are neutral. This result again supports the notion that BIM supports how preventative measures are dealt with.

S4 – BIM provides faster access to information and improves dissemination

Most respondents (69%) strongly/agree or agree and 28% were neutral. This shows that to a slightly lesser extent that BIM enables better access to OSH data and information.

S5 – BIM improves the quality of training activities

A majority of respondents (66%) strongly agree/agree and 31% were neutral. These numbers show that views on BIM's use in facilitating training is not as strong. It should be noted that Tideway is using a new type of induction, EPIC. The fact that EPIC is a novel approach using the latest VR technology rather than a BIM based solution could account for this lower result.

S6 – BIM has the ability to easily cross the language barrier

Most respondents (74%) strongly agree/agree and 23% were neutral. This result shows that BIM is seen as a key enabler in overcoming barriers due to linguistic issues which can arise on UK construction sites due to workers from different nationalities.

S7 – BIM facilitates the task of inspecting workplaces

A relatively smaller majority of respondents (51%) strongly agree/agree and 36% were neutral. This is an indication that the use of BIM for this activity is not very widespread currently.

S8 – BIM assists in the investigation of accidents

Again, a relatively smaller majority 51% of respondents strongly agree/agree, 36% were neutral and 13% disagree. This is an indication that the use of BIM for this activity is also not very widespread currently. This is reflected in the literature that show that his OSH area is not currently being the subject of much research.

S9 – BIM helps to control budgets / costs related to risk prevention

A smaller majority of respondents (57%) strongly agree/agree, 33% were neutral and 10% disagree. This result shows that due to the high proportion of respondents not agreeing there are doubts about the use of BIM to assist OSH budgeting.

S10 – BIM improves logistics and productivity

Most respondents (76%) strongly agree/ agree and 21% were neutral, result that is compatible with 2020 NBS Report which indicates that 71% of respondents see that BIM improves productivity [23]. This is evidence that changes are taking place and that productivity can be enhanced with this.

S11 – BIM helps to save time

A majority of respondents (72%) strongly agree/agree and 23% were neutral which shows that it can be used to improve OSH management responsiveness and productivity.

S12 – BIM optimizes collaboration

Most respondents (71%) strongly agree /agree and 26% were neutral. One of the main reasons for this result was due to many actors were already familiar with the use a Common Data Environment (CDE) in other complex projects (such as Crossrail) to share project information. It also aligns to the 2020 NBS report that indicates that use of CDE's to share project information is becoming increasingly prevalent, and shows how the industry is moving from being predominantly paper-based [23]. In terms of OSH, it means that CDE assisted participants to manage risks and helped improved the flow of information. This high percentage was also likely to be due to many stakeholders working with CDE to manage thousands of different documents. BIM provides good communications between all stakeholders in order to manage design and construction issues e.g. approvals, getting access to appropriate versions of documents, risk transfer, preparation of definitive and temporary works, reviewing constructability, clash detections, risk registers, method statements, investigation of accidents, etc. Creation of 4D models was also used to help plan and disseminate construction site safety activities by providing a weekly look-ahead of construction activities. This provides evidence that major collaboration changes are now taking place in the construction industry.

S13 – BIM enables better management

A large majority of respondents (66%) strongly agree/agree and 31% were neutral. This shows that BIM is viewed as improving the management of projects

S14 – BIM reduces the number of possible conflicts and errors

A clear majority of respondents (82%) strongly agree/agree. This l result confirms the result in the NBS report 2020 that identifies this area as one of the main advantages of BIM [23].

S15 – BIM help to integrate production planning and risk prevention

A majority of respondents (72%) strongly agree/agree and 28% were neutral. These results show that, as noted in the previous literature, BIM can assist with the planning of works and the reduction in risks.

S16 – The launch of the PAS 1192:6 standard has affected the way Health, Safety and Well-Being was managed

Over a quarter of respondents (30%) strongly agree/agree and 64% were neutral. This shows that awareness of PAS1192:6 and its importance is relatively low. This may be due to the fact that PAS1192:6 is written as guidance which gives three very different choices for integrating this kind of information, but it does not say which is the best i.e. graphic marking or. Note that in Tideway adopted graphic marking as one of the most basic and common ways of integrating OSH information into the model's digital data. This consists of introducing a 3D symbol (mark) in the graphic component of the model, giving a visual cue to a risk present in that place or within that object. This mark can have information about the risk and can also be linked, e.g., to a safety procedures sheet.

S17 – BIM tools available for Health, Safety and Well-Being are sufficient and adequate

A minority of respondents (20%) strongly agree/agree, 49% were neutral and 26% disagree. The results show a general disagreement with the statement. This number may be explained by the fact that there are some recent software tools that are being trialed and have not yet fully proved BIM's utility and viability in OSH settings.

S18 – Adopting BIM has increased coordination of OSH documents

A minority of respondents (40%) strongly agree / agree, 44% were neutral and 13% disagree. These results do not align with the 2020 NBS report where the vast majority (85%) of users and non-users say that BIM increases coordination of construction documents speeding up the process and aiding in communication and production of information [23]. The figures may reflect the level of maturity in the use of BIM for OSH.

S19 – BIM has reduced occupational risk levels

A minority of respondents (41%) strongly agree / agree, 41 % were neutral and 18% disagree. This result is not compatible with NBS report that affirms that 72% of BIM users agree that it reduces the risk of problems arising [23]. This is obviously an area that needs further research.

5. Conclusions

There has been a broad increase in understanding and interest in applying BIM to the area of prevention of occupational risks. Integrating OSH in digital data through BIM proves to be a task that implies the effort of all stakeholders, especially in scenarios characterized by the multidisciplinary nature of the work teams and a multi--organizational scope. The main output of the research is a practical industry guidance on how large and complex projects can practice OSH management using a BIM approach. This will become a legacy for the wider industry, raising standards for future similar projects. BIM OSH implementation will enable the AECO industry to deal in a more targeted way to improve risks management. This will lead to quicker and better prevention planning resulting in more efficient OSH processes and increased productivity which will provide a stronger link between production and safety.

It can be said that as Tideway project stakeholders have some BIM experience and already realized their advantages, so they probably turn to be more effective in leveraging BIM implementation for OSH purposes. Observing the results obtained, it can be seen that BIM implementation for OSH has been well received by the Tideway technical community, namely in risk assessment and training areas, which reinforces and validates the results of previous studies. It can then be concluded that the implementation of the new BIM based approach to construction OSH management in this large and complex project shows that there is a very positive vison in terms of OSH management as well as of optimization of times and costs, better liaison between OSH and production, with increased production efficiency. This fact can potentially lead to a paradigm shift in OSH management. It also can be noticed that the implementation of BIM for OSH implies that there is a collaborative culture between stakeholders, that people have the appropriate skills and are trained on the importance and usefulness of technology. In this research there was a very positive effect of the joint efforts of the academia and industry which should be stressed, as it enhances and facilitates the implementation of research such as this, taking advantage of the know-how of the parties, respectively scientific and technical.

This is ongoing longitudinal research in progress and so new phases are planned. A focus group will be set up to conduct interviews to improve results and overcome limitations. The following topics should be considered in further studies: practical cases of implementation of OSH information through BIM (namely best practices, difficulties and barriers) must be recorded and published, in the format of "lessons learned", for legacy / future memory to clarify PAS1192:6 perspectives. Dynamics and trends of BIM for OSH at European level and different National levels should be

explored and monitorized. Limitations of study: as the study only takes place in one project, it may not provide a complete picture of the whole industry. Unprecedent COVID lockdowns and restriction had a great influence in terms of small sample size of survey and affected on gathering answers and discussing results. On the other hand, COVID had a positive effect in terms of facilitating gathering of the team and growing of partnerships (through periodic online platforms).

References

[1] N. Bobylev, "Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: a case of urban underground space use", *Land Use Policy,* vol. 26, pp. 1128-1137, 2009.

[2] M. L. Tender, J. P. Couto, and L. Bragança, "The role of underground construction for the mobility, quality of life and economic and social sustainability of urban regions", *REM-International Engineering Journal,* vol. 70, pp. 265-271, 2017.

[3] M. Tender, J. Couto, and A. Camões, "Risk evaluation in tunnelling excavation methods", *Revista Escola de Minas,* p. Approved for publication, 2018.

[4] NBS, "Digital Construction Report 2021", 2021.

[5] M. Tender and J. Couto, "Prevention of occupational risks in a construction site using BIM", in *Occupational and Environmental Safety and Health III*, A. e. al, Ed., ed Switzerland: Springer Nature, 2022, pp. 63-73.

[6] M. Tender, J. Couto, and P. Fuller, "Integrating occupational health and safety data digitally using Building Information Modelling – uses of BIM for OHS management", in *Occupational and Environmental Safety and Health III*, A. e. al, Ed., ed Switzerland: Springer Nature, 2022, pp. 85-96.

[7] M. Tender, P. Fuller, J. Couto, A. Gibb, and S. Yeomans, "Emerging technologies for health, safety and well-being in construction industry", in *Industry 4.0 for the built environment – methodologies, technologies and skills*, B. e. al, Ed., ed Switzerland: Springer Nature, 2021, pp. 369-390.

[8] S. Mordue and R. Finch, *BIM for construction health and safety*: Routledge, 2019.

[9] A. Pidgeon and N. Dawood, "BIM adoption issues in infrastructure construction projects: analysis and solutions", *Journal of Information Technology in Construction,* vol. 26, pp. 263-285.

[10] The British Standards Institution, *Publicly available specification PAS 1192-6 – Specification for collaborative sharing and use of structured Health and Safety information using BIM*, 2018.

[11] M. Tender, J. P. Couto, R. Reis, P. Monteiro, T. Rocha, T. Delgado*, et al.*, "BIM as a 3D, 4D and 5D management tool in a construction site", in *2nd Portuguese BIM Congress*, Lisbon, Portugal, 2018.

[12] M. Tender, J. Couto, and P. Fuller, "Improving occupational health and safety data integration using Building Information Modelling - an initial literature review", in *Occupational and Environmental Safety and Health III*, A. e. al, Ed., ed Switzerland: Springer Nature, 2022, pp. 75-84.

[13] S. Azhar and A. Behringer, "A BIM-based approach for communicating and implementing a construction site safety plan", in *49th ASC Annual International Conference Proceedings*, Califórnia, EUA, 2013.

[14] New York County Department of Buildings, "Building Information Modeling Site Safety Submission Guidelines and Standards", ed. New York, 2013.

[15] J. Irizarry, S. Zolfagharian, A. Ressang, M. Nourbakhsh, and M. Gheisari, "Automated safety planning approach for residential construction sites in Malasya", *International Journal of Construction Management,* vol. 14, pp. 134-147, 2014.

[16] M. Tender, J. P. Couto, and J. Fernandes, "Using BIM for risk management on a construction site", in *Occupational Safety and Hygiene V*, Arezes et al, Ed., ed Londres, Inglaterra: CRC Press/Balkema, 2017, pp. 269-272.

[17] M. Martínez-Aires, M. López-Alonso, and M. Martínez-Rojas, "Building information modeling and safety management: A systematic review", *Safety Science,* vol. 101, pp. 11-18, 2018.

[18] A. Ganah and J. Goudfard, "Integrating Building Information Modeling and Health and Safety for Onsite Construction", *Safety and Health at Work,* vol. 6, pp. 39-45, 2015.

[19] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. Eastman, and J. Teizer, "BIM--based fall hazard identification and prevention in construction safety planning", *Safety Science,* vol. 72, pp. 31-45, 2015.

[20] I. Kamardeen, "8D BIM modelling tool for accident prevention through design", in *26th Annual ARCOM Conference*, Leeds, Inglaterra, 2010, pp. 281-289.

[21] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*: John Wiley & Sons, 2011.

[22] P. Fuller, A. Gibb, W. Jones, A. Dainty, R. Haslam, P. Bust*, et al.*, "Is the longbow better than the crossbow? Emerging issues from mobilising a longitudinal study on a megaproject", *Journal of Construction Project Management and Innovation,* vol. 7, pp. 2054-2065, 2017.

[23] NBS, "10th Annual BIM Report 2020", Newcastle Upon Tyne,2020.

BIM, digitalização e estratégia de industrialização do sector AEC

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.14

Miguel Pires[1], **Pedro Carneiro**[1]

[1] *TOPBIM by Grupo Casais, Braga*

Resumo

O sector AEC encontra-se numa fase de disrupção, resultante da ausência de mão de obra especializada e operacional, processos que implicam baixa produtividade, incorporando atualmente um novo vetor critico relacionado com a urgência climática e transformações associadas.

Esta crise do sector motiva uma enorme preocupação, mas em simultâneo promove uma excelente oportunidade de mudança, que na visão da CASAIS será ultrapassada estrategicamente através da forte adoção da digitalização orientada para a industrialização.

São explicados os passos de investigação e desenvolvimento implementados para a conceção e incorporação de soluções industrializadas em projetos de edifícios. Descrevem-se as metodologias de organização da informação, testagem em protótipos para análise da performance dos produtos, sustentabilidade, KPI de produção, resistência, durabilidade, entre outros.

São também expostos os passos necessários para determinar o potencial de industrialização de projetos tradicionais, não concebidos inicialmente para esse fim, adaptando-os às soluções modulares, através de mecanismos tendencialmente automatizados (*mass customization*).

É demonstrada a possibilidade de integração desde a origem do conceito, até ao produto acabado, da metodologia BIM orientada para o *Design For Manufacturing and Assembly*. Desde o projeto original, à conceção da Arquitetura e da Estrutura, até às soluções modulares de compartimentos do edifício, enquadrando toda a filosofia de industrialização da construção para coexistência com o processo de DfMA.

Por fim, são expostas algumas das estratégias adotadas para transformar uma abordagem modular numa aplicação concreta e real e também como, através da obra, se pode retroalimentar os modelos de informação para monitorização, aprendizagem e aprimoramento dos processos.

1. Introdução

Para além da evidente insuficiência de rendimento produtivo quando em comparação com as outras indústrias [1], à data concorrem outros fatores que colocam em risco o status quo do sector AEC construção. Como exemplo, é de referir o desaparecimento consistente de mão-de-obra e consequente aumento de preço [2], associado ao despertar de uma consciencialização da necessidade de uma ação pró-climática geral uma vez que a indústria da construção é, por um lado extremamente extrativa e, por outro, extremamente poluente e geradora de resíduos [3]. A industrialização fortemente digitalizada (BIM – modelos, processos e gestão de informação) é uma clara aposta do Grupo Casais, como resposta aos problemas mencionados no sentido da sua inflexão e de demonstração da capacidade de adaptação às circunstâncias, fazendo face a desafios ímpares partilhados com toda a sociedade.

O presente artigo expõe a filosofia de industrialização implementada no Grupo Casais, conforme tem emergido nos últimos anos, que apresenta casos de estudo suficientes para suporte de uma visão geral da estratégia e processos passo-a-passo.

2. Industrialização da Construção – Panorama geral

Para melhor enquadramento geral das etapas associadas ao caminho de uma abordagem mais digital e industrializada da construção devemos ter em conta a Figura 1 onde se caracteriza de forma sucinta as fases, intervenientes, processos e cadeias de informação associadas.

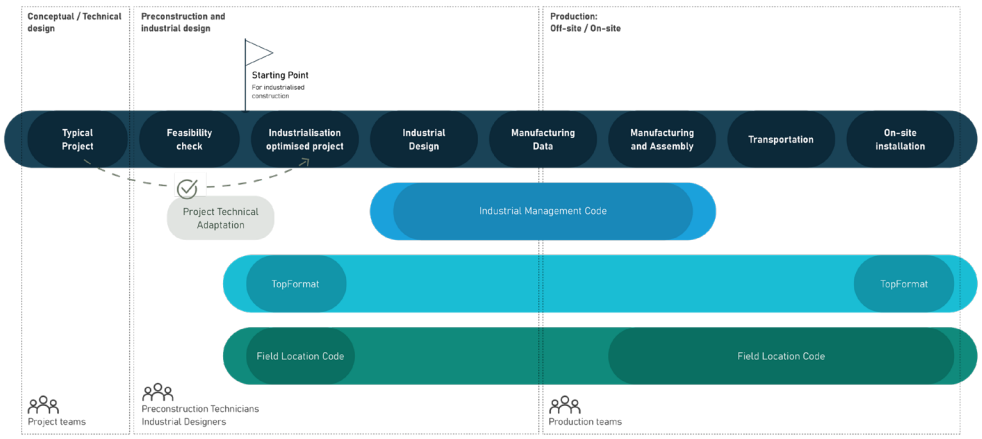


Figura 1
Fases, equipas, processos e cadeias de informação.

Resumidamente, são de considerar três grandes fases nas quais se sequenciam os processos:

Na fase de desenvolvimento técnico e conceptual, levada a cabo pelas equipas projetistas, é desenvolvido um projeto correspondente a uma solicitação específica de um cliente. De forma convencional, a inclusão de práticas beneficiadoras da industrialização não faz parte da solicitação. Como tal, o produto desta fase é o que chama de "projeto convencional" (idealmente, um anteprojeto). Na fase de desenvolvimento de pré-construção e design industrial o objetivo é, em primeira instância, determinar a viabilidade do projeto no sentido da abordagem industrializada e, caso exista, por um lado, proceder a todas as alterações e validações técnicas necessárias para o otimizar para a dita produção e, por outro, enriquecer o projeto com informação a fornecer às equipas de produção, no momento de charneira entre fases. Na última fase, a fase de produção *off-site* e execução *in-situ*, as equipas de produção utilizam toda a informação constituída na fase anterior - conforme solicitado pela equipa de produção - para fabricar e montar os componentes em ambiente industrial, organizar a logística necessária ao seu transporte e armazenamento no local de aplicação (obra) e executá-los in-situ.

As cadeias de informação, sucintamente, correspondem à atribuição a todos os elementos a fabricar de 3 códigos: de gestão industrial (identificador exclusivo de cada componente no ambiente industrial), de classificação do produto no universo do Grupo Casais e de atribuição do sector de aplicação em obra (ambos descritos em maior detalhe na secção 7). Na fig.1, também podemos ver em que fase são introduzidos e até quando são relevantes.

É importante ainda outro esquema (Fig.2) que resume os 4 grupos dos vários graus dos projetos para acomodarem uma abordagem mais industrializada / fabrico *off-site* dos seus componentes.

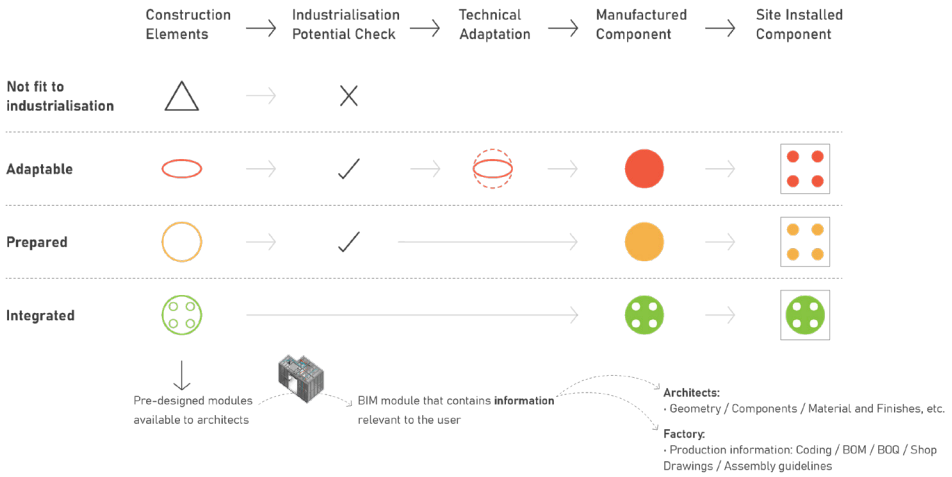


Figura 2
Abordagem de projeto com respeito à industrialização.

Esta triagem é feita a montante de tudo no "Estudo de Viabilidade", após o qual se consegue identificar até que ponto é razoável aplicar a lógica do fabrico tipo linha de montagem aos componentes de cada projeto, ou seja, qual o seu potencial de industrialização. Em casos ostensivamente inaptos (pensemos numa reabilitação em que cada componente é diferente de todos os outros para se adaptar a uma pré-existência

nada modular), é eliminado o projeto da grelha de industrialização. Por outro lado, podemos ter um projeto adaptável, ou seja, que apesar de não ter sido desenvolvido conceptualmente para tal, apresenta potencial para industrializar, após ajustes pontuais (adaptação técnica). Há ainda o grupo do projeto preparados para acomodar a industrialização, nos quais a filosofia é altamente modularizada, tanto que não só dispensa o estudo de viabilidade como a própria adaptação técnica. Por fim, uma abordagem de mentalidade integralmente industrial é imaginada como integradora em projeto de produtos pré-concebidos pela indústria que os vá construir. Nesta abordagem, o projetista dispõe de módulos (ou sub-módulos de módulos) cuidadosamente preparados num cardápio para facilitar a sua consulta e utilização, com informação embutida relevante para cada tipo de utilizador de cada fase. Por exemplo, módulos com toda a informação estética, geométrica e construtiva para consumo do projetista e códigos de gestão industrial e instruções de fabrico direcionados à equipa de produção a quem sejam encomendados. Atualmente, no mercado nacional, a abordagem mais frequente é a adaptável, mas começam a surgir solicitações dos níveis seguintes. Cada vez mais por parte dos próprios clientes, no sentido de agilizar a construção e garantir a qualidade da execução.

3. Estudo de viabilidade de um projeto para abordagem industrial

No estudo de viabilidade, determinante para verificar o potencial de industrialização do projeto em análise, é feita uma análise de deteção de padrões para todos os componentes, numa perspetiva de os poder vir a produzir industrialmente, ou seja, em série/linhas de montagem partilhadas. A quantidade de elementos similares é o fator chave nesta primeira verificação. Daí que compartimentos altamente *standardizáveis*, como é o caso das instalações sanitárias ou cozinhas, sejam logo tidos em conta. Neste processo, também é classificada a não padronização em dois tipos: não ajustável e ajustável. Esses elementos só encaixam na estratégia caso exista margem para acomodar a adaptabilidade necessária, tais como abertura do cliente, abertura dos projetistas, características dos materiais, constrangimentos geométricos ou regulamentares, etc. A segunda verificação é a *clusterização*, ou seja, após a adaptação expectável, qual o número de grupos e sub-tipologias alcançáveis. Neste passo, imaginando o cenário do processo produtivo, é determinante conseguir um número razoável de variações a produzir, o mais baixo possível. Por exemplo, para um grupo de 400 I.S. similares, após ajuste, conseguir apenas 20 tipologias (muitas linhas e instruções de fabrico partilhadas) é um bom indicador, ao passo que 100 tipologias (ainda que cada corresponda a 40 unidades) poderá representar um constrangimento da operação, quer pela necessidade de criação e dificuldade de gestão de instruções de fabrico, quer pelas logísticas de armazenamento e planeamento.

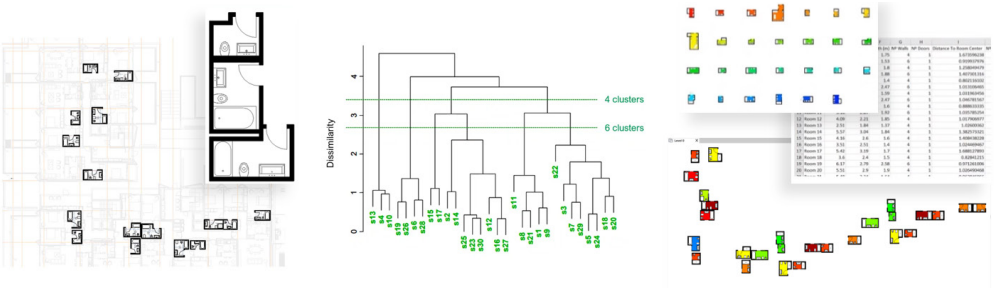


Figura 3
Hierarchical Clustering (automático) de modelo parcial com LOD200.

Ainda que ambas as verificações possam ser feitas de forma convencional, é possível socorrer-se de automatização via algoritmos de *hierarchical clustering* (Fig. 3) para deteção de padrões e categorização dos grupos possíveis (incluindo previsão de ajustes para maior standardização), com um número mínimo de inputs do utilizador e com base numa modelação muito preliminar (LOD200) como base de informação (Rooms, Walls, Componentes com instalações MEP e portas, para o exemplo de uma I.S.), conforme visível na Fig. 3. Nesta abordagem, os resultados da análise são obtidos de forma muito expedita e com consistência superior.

4. Adaptação técnica do projeto base

Após a validação do ponto 3, recordando a Fig.2, não é suficiente reconhecer o potencial de um projeto A – projeto base. De seguida, procede-se à adaptação na qual a pré-construção se encarrega do seu redesenho, para representação do impacto das adaptações necessárias (ponto 5), constituindo um projeto B – otimizado para fabrico industrial. Este passo é fundamental, já que o projeto A é o produto de conformidades próprias implícitas, de solicitação do dono de obra (solução de programa e geometria) e constrangimentos especiais (técnicos, regulamentares, etc). Assim, antes de avançar com a produção, é necessário submeter o projeto B à validação dos projetistas e cliente, para a derradeira validação externa.

5. Industrialização e DfMA: BIM de A a Z, do projeto à produção e execução

Com o projeto B validado (*compliance* técnico, espacial, geométrico, regulamentar, etc.), procura-se nesta fase de pré-construção e design industrial construir a informação que instruirá o fabrico, garantindo outros dois *compliances* previamente acordados com as equipas produtivas: standards de produção industrial e de transporte/logística. A informação é introduzida e consumida em três escalas de atuação, a que chamamos de "Macro BIM" (pré-construção, à escala do edifício/arquitetura 1/100 – 1/50), "Micro BIM" (à escala mais aprofundada da arquitetura 1/20 – 1/10) e, por fim, "Nano BIM" (à escala dos componentes/design industrial e elementos e instruções de fabrico).

Para o "Macro BIM", os fatores críticos são a integração do módulo completo na generalidade das plantas do edifício (coordenação geral com larguras de corredores, coretes, estrutura, etc.)

Para o "Micro BIM" (Fig.4), os fatores críticos são:

1) garantir folgas, espessuras, pormenores, margens de segurança, resistência e reforços dos materiais, etc. e encaixa com os standards específicos da indústria;
2) garantir que as especificidades relacionadas com a manobra, o transporte, a *stockagem*, e a própria operação dos trabalhadores e das máquinas são acautelados;
3) constituir modelo de informação LOD300/350 e documentação de arquitetura (escala 1:20) que servirão de base aos próximos processos, tanto geometricamente como pela classificação dos componentes e do respetivo sector de aplicação (ponto 5).

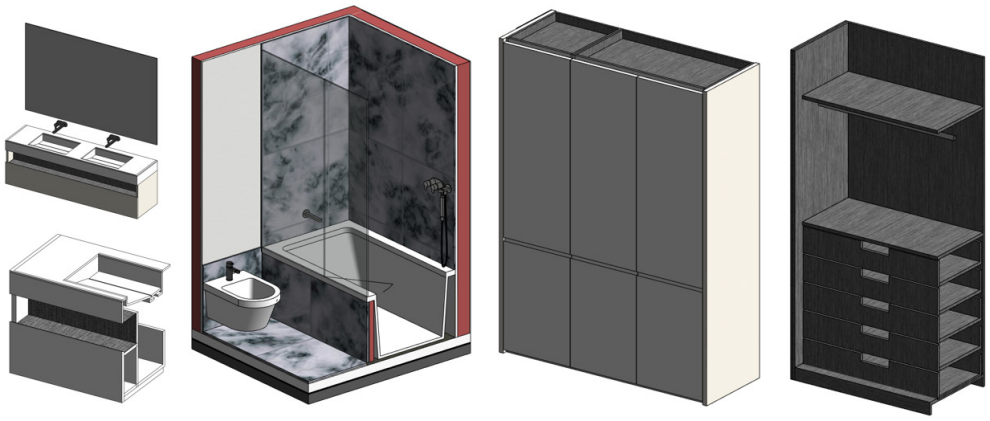


Figura 4
"Micro BIM" – componentes de arquitetura.

Por fim, na charneira entre a pré-construção e a equipa de produção industrial, a informação é entregue à segunda, para ser assimilada pela gestão industrial e convertida em instruções no standard de comunicação específico do chão de fábrica – dados para fabrico -, via o "Nano BIM". Ao nível do "Nano BIM" (Fig.5/Fig.6), o pretendido é desconstruir os elementos macro nas peças fundamentais (micro – parafusos, dobradiças, etc.), com o detalhe a uma escala mais próxima da realidade (1:1 a 1:10) – LOD 400/500. Pretende-se obter uma listagem de todos os componentes e respetivas quantidades (*BOQ – Bill of quantities / BOM – Bill of materials*), incluindo já um controlo mais profundo da exequibilidade de montagem, garantido pela ação da equipa de design industrial.

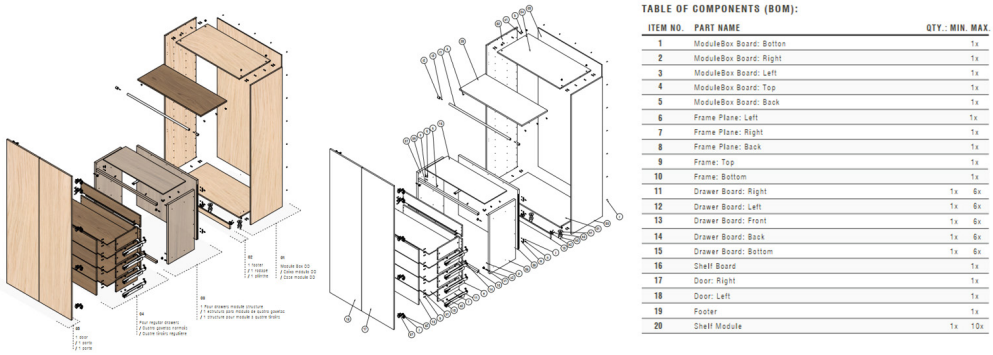


TABLE OF COMPONENTS (BOM):

ITEM NO.	PART NAME	QTY.: MIN.	MAX.
1	ModuleBox Board: Botton		1x
2	ModuleBox Board: Right		1x
3	ModuleBox Board: Left		1x
4	ModuleBox Board: Top		1x
5	ModuleBox Board: Back		1x
6	Frame Plane: Left		1x
7	Frame Plane: Right		1x
8	Frame Plane: Back		1x
9	Frame: Top		1x
10	Frame: Bottom		1x
11	Drawer Board: Right	1x	6x
12	Drawer Board: Left	1x	6x
13	Drawer Board: Front	1x	6x
14	Drawer Board: Back	1x	6x
15	Drawer Board: Bottom	1x	6x
16	Shelf Board		1x
17	Door: Right		1x
18	Door: Left		1x
19	Footer		1x
20	Shelf Module	1x	10x

Figura 5
"Nano BIM" – componentes de design industrial.

Com estes elementos em mão, as linhas de manufatura/montagem convertem desenhos e listas em componentes construídos *off-site*, para embalar, transportar e instalar em obra.

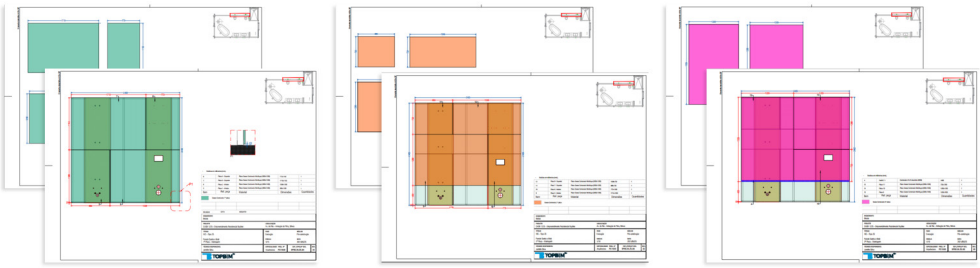


Figura 6
"Nano BIM" – instruções de fabrico.

Este encadeamento dos processos e averiguações cada vez mais profundas garante uma filtração progressiva dos problemas vs. pré-requisitos da indústria, muito a montante do projeto chegar à pré-produção. De outra forma, a curta margem para a realizar em cima do fabrico aumentaria a probabilidade de engarrafamentos das linhas e abatimento de produtividade.

6. Caso de estudo – Bayline

De seguida, será apresentado um caso prático de implementação do processo de industrialização (Fig.1) de componentes de um projeto do tipo Adaptável (Fig.2), desde o estudo de viabilidade, adaptação técnica, DfMA (Macro, Micro, Nano BIM), transporte e execução numa obra específica, nomeadamente "*Bayline – beachfront living" (Vanguard Properties*).

Figura 7
"Bayline" (autor da imagem/arquitetura: Saraiva + Associados.

"Bayline" é um empreendimento de habitação multifamiliar localizado numa costa Algarvia (Fig.7). Dada a sua dimensão e padronização dos *layouts* dos pisos, foi sinalizado para estudo de viabilidade nas premissas do Ponto 3. Desse, decorreu o reconhecimento de um elevado número global de instalações sanitárias (560+). Procedeu-se, então, à análise de em quantos grupos (similaridade dimensões, área, peças sanitárias, banheira/duche) seria possível categorizar todas as IS bem como em quantas subcategorias (posição das peças, posição/tipo de porta, etc.).

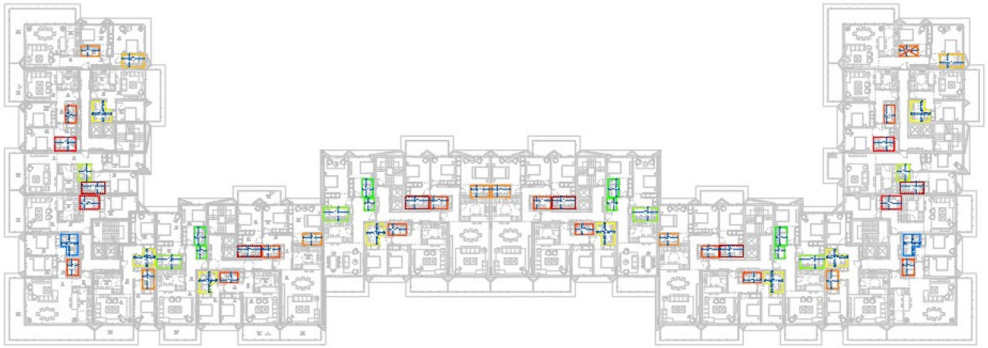


Figura 8
Categorização das IS de um piso.

Da categorização (Fig.8), decorreram duas conclusões: o projeto teria condições para produção industrial das IS se 1) se procedesse a ajustes para a standardização de dimensões e posição dos elementos para gerar um agrupamento maior (exponenciar o fabrico em série) e se 2) fosse admissível uma alteração quanto à solução construtiva das paredes destes compartimentos, ou seja, uma conversão das alvenarias de tijolo – de projeto – em divisórias de gesso cartonado.

Assim, a viabilidade prendia-se com a validação geométrica e regulamentar da arquitetura e, como tal, foi executado um redesenho global de todo o projeto considerando as alterações pretendidas. Ainda que da parte da Arquitetura e do Dono de Obra não tenham surgido obstáculos à alternativa apresentada, surgiu um outro tema relacionado com a perda global de inércia térmica, dada a conversão do tipo de paredes, um tema que foi submetido à análise do projetista de Térmica que confirmou, contudo, após cálculo, o cumprimento regulamentar.

O passo seguinte foi a preparação dos pacotes de informação de fabrico para cada uma das categorias e subcategorias de IS, desde a arquitetura – na qual a pré-construção incidiu para criar elementos de pormenorização à escala 1:50 (plantas, alçados de cada parede e listagem global de peças sanitárias e materiais) –, passando pelo design industrial – no qual se desenvolveram pormenorizações a uma escala maior (DfMA) já com a inclusão de dobradiças, parafusos, montantes de aço galvanizado, zonas de reforço, pormenores de impermeabilização, folgas e perfis entre materiais, para finalmente chegar aos desenhos e listas para a encomenda de materiais/equipamentos para cada parede de cada IS (1000+ desenhos), tendo sido esse o formato escolhido para fabrico *off-site*, entre outros, pela facilidade de transporte.

As paredes, já com acabamentos e infraestruturas viriam então a ser transportadas desde a fábrica em Braga (BLUFAB by Grupo Casais) até ao empreendimento no Algarve, onde foi executada a sua aplicação e ligação à rede de infraestruturas de distribuição dos pisos (Fig.9).

Figura 9
Aplicação em obra das paredes de IS pré-fabricadas.

7. BIM e industrialização – Cadeias de informação vs. obra

Em seguida, são descritas algumas práticas e cadeias de informação introduzidas especial – mas não exclusivamente – para interação e utilização por parte da obra.

Sectorização – Este código é atribuído a cada componente e refere-se à zona de aplicação, ou seja, para onde especificamente na obra deve ser transportado e utilizado. A direção de obra cria uma matriz de sectorização, desde os edifícios às zonas de cada compartimento (Fig. 10). Ao modelar os componentes, atribuir-lhes um código-destino tem várias vantagens, como a possibilidade de criação de pacotes de materiais para armazenamento nas proximidades da zona de aplicação ou facilitar a monitorização de rácios de execução. A sectorização permite, via código QR em cada sector, associar e consultar observações, *checklists*, *RFIs*, etc., respetivos a esse sector através da plataforma de gestão digital integrada da obra utilizada pela Casais.

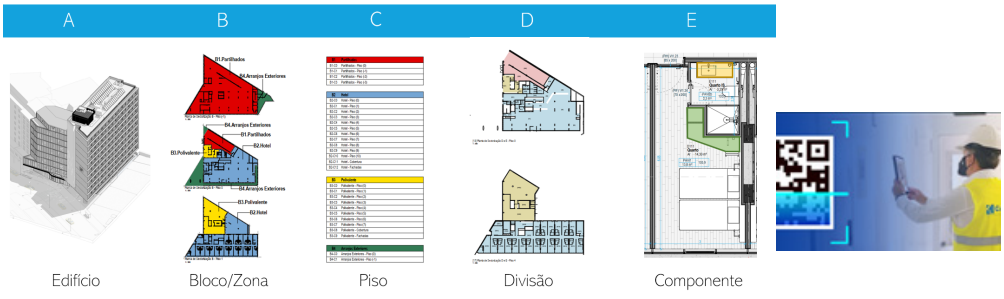


Figura 10
Sectorização de uma obra (esq.)/QR para monitorização do sector (dir.).

TopFormat – Código exclusivo para classificação do produto/sistema no universo do Grupo Casais, utilizado para três fins: categorizar determinado elemento numa raiz transversal (baseada num sistema de classificação existente), complementá-lo com informação do fabricante e número de entrada e criar um repositório com desenhos técnicos, instruções de montagem, objetos BIM, fichas técnicas, certificações, etc. O código identifica o repositório de todos os elementos da construção que terá utilidade em todas fases do seu ciclo de vida.

Levantamentos digitais para informação e monitorização – Para otimizar a integração dos modelos de informação com a operação produtiva *in-situ*, são relevantes práticas relacionadas com levantamentos digitais via nuvem de pontos, para garantir a fiabilidade do levantamento de pré-existências – a construção industrializada não é tão flexível para adaptações como a construção no local – e monitorizar o avanço dos trabalhos.

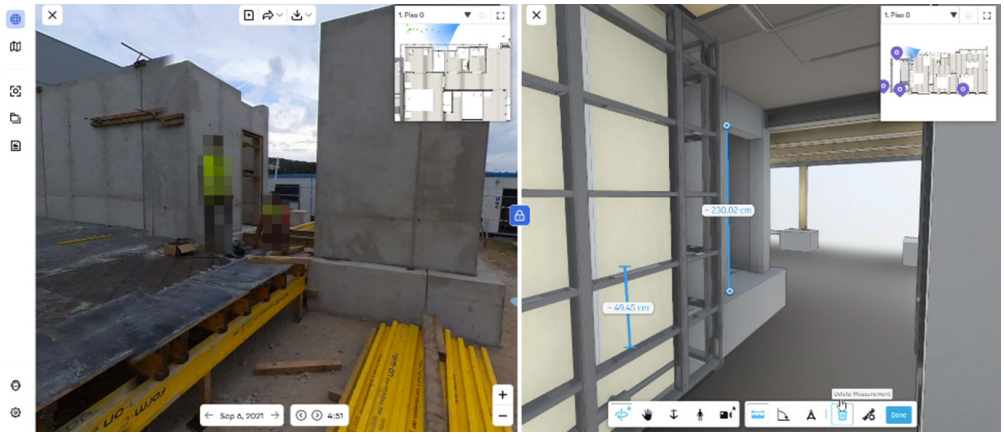


Figura 11
Obra vs. modelo de informação.

É possível também obter em obra uma previsão do estado final vs. estado atual, na qual o software identifica automaticamente (por relação com o modelo) quais dos elementos já se encontram executados ou por executar (Fig.11). Assim, por justaposição do real com o planeamento inicial, torna-se rapidamente percetível o cumprimento ou o atraso específico de cada tarefa. Desde que os modelos de informação estejam georreferenciados, é ainda possível proceder, à marcação em obra de pontos solicitados pelo utilizador através de estações topográficas totais (Fig.12), algo que é fundamental para garantir compatibilização com elementos pré-fabricados.

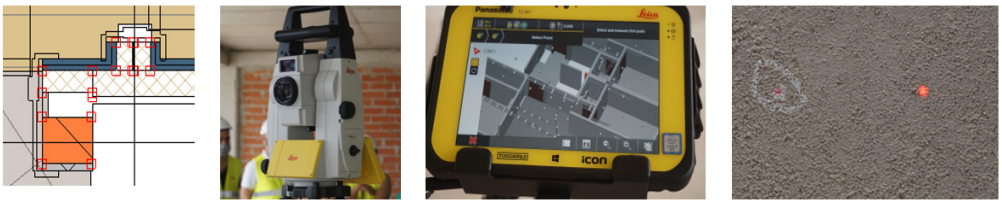


Figura 12
Processo de marcação de pontos digitais em obra.

8. Conclusão

A aposta do Grupo Casais na industrialização da construção tem vindo a afirmar um enorme potencial de resolução da estagnação produtiva do sector. Catalisada pelo BIM, as possibilidades são ainda mais exponenciadas, dada a evolução das tecnologias que nos permitem não só utilizar a informação gráfica/não gráfica dos modelos, como também cada vez mais, as inserir na ação, quer em fábrica, quer em obra, de tal forma que acreditamos que se vá tornar insubstituível num futuro de mão de obra cada escassa e de imperativa alteração de paradigma no que toca à gestão de recursos e materiais [4]. Apesar de muitas incertezas, uma aposta futura no sentido de exacerbar o potencial de industrialização do sector, passará por constituir um conjunto de soluções/productos próprios – atualmente disponíveis e futuramente desenvolvidos - e a sua disponibilização pública via elementos digitais (objetos BIM) para utilização dos projetistas, fomentando progressivamente uma abordagem mais integrada, nos moldes da Fig.2 (ponto 1). Colocando as soluções modulares no mercado com um grau de parametrização que lhes confira flexibilidade, garante-se que a) o projetista não perde a capacidade de personalização/autoria dentro das hipóteses conferidas b) está a trabalhar em fase de projeto com componentes muito próximos da imagem do produto final – já que a qualidade e consistência de execução dos componentes é muito superior em produção *off-site* – e c) não tem que se preocupar com a adequação ou não do projeto para a produção industrializada. Para o fabricante desses produtos modulares, esta é uma enorme vantagem porque, já que a sua adequação para fabrico está controlada a montante da disponibilização ao público do objeto BIM, dispensa fases inteiras como estudos de viabilidade e a adaptações técnica. Em complemento, toda a informação embutida nos objetos, mesmo que invisível aos olhos do projetista - classificação, identificação, *templates* de ordem de fabrico, etc. - a sua produção será de baixo desperdício de material (encomenda rigorosa) e de trabalho (mão de obra), alavancando o sector AEC para a produtividade de que tanto carece [5].

Referências

[1] Green B., *Productivity In Construction: Creating A Framework For The Industry To Thrive*. Bracknell, CIOB, 2016.

[2] Farmer M., *The Farmer Review of the UK Construction Labour Model*. Cast--Consultancy.com. https://www.cast-consultancy.com/knowledge-hub/the--farmer-review-of-the-uk-construction-labour-model/ (acedido a 4 de Janeiro, 2022).

[3] Sikra, S. *How Does Construction Impact the Environment*. Gocontractor.com/blog. How Does Construction Impact the Environment? | GoContractor (acedido a 4 de Janeiro, 2022).

[4] Thompson M., *DfMA Overlay to the RIBA Plan of Work*. London, RIBA, 2021

[5] Barbosa F., Woetzel J., Mischke J., Ribeirinho M., Srdihar M., Parsons M., Bertram N., Brown S., *Reinventing construction through a productivity revolution*. Mckinsey.com. Reinventing construction through a productivity revolution | McKinsey (acedido a 4 de Janeiro, 2022).

Desenvolvimentos na automação da extração de quantidades – Projeto Metabuilding

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.15

Filipe Lima[1], **Sébastien Roux**[1], **Tiago Pedro**[2], **Ricardo Pontes Resende**[2]

[1] *Limsen Consulting, Lisboa*

[2] *Iscte – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-7345-4906 (TP), 0000-0002-2155-5625 (RPR)*

Resumo

A extração de quantidades para geração de estimativas de custos é um dos principais usos BIM, mais comum durante a fase de projeto, mas com aplicação em todo ciclo de vida, não só para cálculo do custo económico, mas também, por exemplo, na estimativa de impactos ambientais. Uma extração de quantidades deve ser rápida, fiável e transparente. O processo deve ser auditável, incremental e repetível. Apesar das diversas vantagens da extração de quantidades a partir de modelos BIM em relação ao método tradicional, existe ainda ampla margem de melhoria.

A Limsen Consulting (Consultora) obteve apoio do projeto METABUILDING para, com o centro de investigação ISTAR - Iscte, desenvolver duas tecnologias que melhoram o seu processo, que tem aplicado em projetos de várias dimensões e naturezas. Este apoio resultou no desenvolvimento de uma aplicação online para visualização e auditoria de modelos e mapas de quantidades e dois plugins para o software Navisworks. Estes plugins, em conjunto com a tradução para Português do sistema de classificação e Work Breakdown Structure Uniformat e automações em Excel completaram a metodologia de extração de quantidades da Consultora, permitindo um workflow mais rápido, fiável e transparente. A exposição é complementada por casos de aplicação em obras de elevada complexidade, e pela reflexão sobre as vantagens e desvantagens e desenvolvimentos futuros.

1. Introdução

No projeto e preparação da construção, mesmo quando se seguem metodologias BIM, há muitas atividades excessivamente demoradas ou onde a informação se perde, tais como a Extração de Quantidades, ou Quantity Take-Off (QTO), uso essencial para quinta dimensão do BIM (custos) e que é referido como um dos mais importantes [1 - 2]. Embora a metodologia BIM seja mais eficiente que os métodos manuais ou semi-manuais, há muito espaço para melhorias de eficiência. Por outro lado, mesmo os métodos suportados por extração de listagens dos softwares de modelação ou os softwares dedicados, como o Solibri ou o Navisworks, estão centrados na tarefa de extração em si, e não na ligação e comunicação com as partes interessadas não especializadas. No fim do dia, mesmo estes métodos BIM resultam em atualizações pouco frequentes do orçamento e numa comunicação opaca e que não fomenta a confiança entre parceiros tanto quanto seria possível. Por outro lado, há usos BIM como as avaliações de impacto ambiental, em particular o cálculo de carbono incorporado ou, de forma mais completa e complexa, análises de ciclo de vida (LCA) [3] ou a quantificação de resíduos de construção [4] que dependem das extrações de quantidade e que podem passar a ser feitas com maior frequência e exatidão ao longo do ciclo de vida.

Contudo, existem ainda resistências a este uso BIM, que são compreensíveis face à importância económica das medições, às consequências de erros, à alta responsabilidade atribuída ao modelador e às práticas enraizadas e aceites na indústria. Diversos estudos sobre as barreiras à implementação BIM referem que a quantificação a partir de modelos é um dos pontos sensíveis [3, 4]. Com efeito, para se poder, de forma fiável, extrair as quantidades corretas de um modelo BIM, é necessário seguir não só regras de modelação adequadas (e.g. [7]) como metodologias de colaboração que exigem uma disciplina apertada. A definição e aceitação dessas regras deve ser feita no Plano de Execução BIM (e.g. [8], [9]) e acordada entre as equipas.

Como empresa especializada na digitalização da indústria da construção, a Consultora procura responder aos desafios que cada projecto coloca. Estes desafios decorrem muitas vezes da interação entre equipas com processos próprios e níveis de utilização BIM distintos. Neste sentido, a integração e coordenação de informação surge como uma componente essencial para garantir resultados – sendo o processo de medições a partir de modelos um exemplo desta mesma gestão de informação. Na atividade da Consultora é comum tanto donos de obra como gestores de projecto solicitarem ao BIM Management a verificação de medições, o que leva a que estas sejam realizadas maioritariamente a partir de modelos. É neste contexto que se estabelecem metodologias comuns de trabalho a todos os intervenientes, para as quais a introdução de rotinas automatizadas vem otimizar o processo de medição, apoiando a análise de custos.

O objetivo deste projeto é a construção de fluxo de trabalho híbrido local/na nuvem, com desenvolvimento em duas frentes. Primeiro, melhoria do processo QTO baseado no BIM, adotando um Sistema de Classificação e desenvolvimento de plugins que automatizam a quantificação com um aumento de até 75% da eficiência. Segundo,

desenvolvimento de uma aplicação baseada na nuvem que permite a utilizadores autorizados explorar e consultar o orçamento de um projeto tanto no formato de "folha de cálculo" como diretamente no modelo.

A quantificação e orçamentação quase em tempo real permite poupar centenas de horas e abre a porta a avaliações mais frequentes e corretas, conduzindo a decisões mais bem informadas. As repercussões sentem-se a vários níveis:

- As avaliações tornam-se um processo iterativo, em vez de uma verificação final, poupando retrabalho na conceção e na preparação da obra;
- As alternativas de projeto podem ser mais facilmente estudadas;
- A transição entre fases do projeto é facilitada e a perda de dados é minimizada.

Com visualização e análise das quantidades e do orçamento em formato de lista e modelo 3D onde os itens selecionados são destacados no modelo e vice-versa, esperamos:

- Os projetistas estarão melhor ligados ao impacto financeiro/ambiental das suas decisões, uma vez que os custos são encontrados em minutos, em vez de dias/semanas;
- O diálogo entre Projetista e cliente melhora, uma vez que há maior clareza nos dados transmitidos;
- Os decisores sem conhecimentos de construção podem compreender a estrutura de custos da obra e podem assim ter uma participação informada.

2. Metodologia e Tecnologia para QTO baseada em BIM

A extração de quantidades, tarefa que precede a orçamentação ou estimativa de custos é uma tarefa essencial em qualquer obra, e constitui um dos usos BIM mas que exige bom nível de maturidade pois a qualidade da modelação e da parametrização do modelo é essencial. Para tal, as regras de modelação geométrica devem ser estritamente seguidas, devendo verificar-se, entre outros aspetos que o modelo está completo, a sobreposição e continuidade dos objetos, a sua duplicação tanto no mesmo modelo como entre especialidades e, finalmente, a correta parametrização. Os softwares de modelação oferecem funcionalidades interessantes para a quantificação (*Schedules*), mas os softwares dedicados como o Solibri ou o Navisworks permitem maior controlo sobre a operação. Entre as vantagens, salienta-se a verificação de que todos os objetos são medidos, e a comparação automática entre medições consecutivas.

2.1. Extração de quantidades

A Consultora desenvolveu uma metodologia de extração de quantidades direcionada para a fase de desenvolvimento de projecto. Esta metodologia foi construída ao longo de sete anos para conciliar duas realidades : o trabalho do projetista e o trabalho do medidor orçamentista (MO).

Reconhecendo que as definições e intenções de projecto são em parte interpretadas pelo MO, acarretando erros quantitativos e de julgamento, procurou-se inverter a sequência tradicional de trabalhos. Se é verdade que o MO inicia seu trabalho numa fase final da produção do projetista, sendo o desafio nesse momento o desmontar dum conjunto de informação interdependente, não necessariamente coesa, a nossa metodologia propõe que a medição seja iniciada com o arranque do próprio projecto. Por outras palavras, o que é habitualmente um desiderato da atividade de projecto e que culmina com a quantificação dos trabalhos e materiais, transforma-se numa condição para o desenvolvimento do próprio projecto, atribuindo-lhe maior rigor e coerência.

Em termo práticos, um dos pontos fortes da metodologia é partir de uma base de dados em Sharepoint que está ativa desde o arranque. Esta base de dados antecede o trabalho de modelação e informa da especificidade de cada objeto do modelo através de parâmetros nativos bem conciliados. O parâmetro que recebe a informação (especificação de projecto) é catalogado de um modo customizado ou recorrendo a standards de construção, funcionando a partir daí como código único nas peças desenhadas e Mapas de Quantidades (ver esquema abaixo).

Outro aspeto importante é o facto de projetista e MO estarem em tempo real a trabalhar em simultâneo na base de dados. Isto possibilita que a análise da informação por parte do MO seja progressiva (permitindo até ações corretivas) e que a composição de preços se realize desde as fases iniciais. Consequentemente, a própria equipa de projecto ganha visibilidade sobre a frente de orçamentação que ocorre em paralelo. Apesar de ter sido pensada para um contexto de projecto de arquitetura, verifica-se ainda que a metodologia apresenta uma flexibilidade que permite a sua aplicação a outras especialidades, sendo comum o princípio da fonte única de informação.

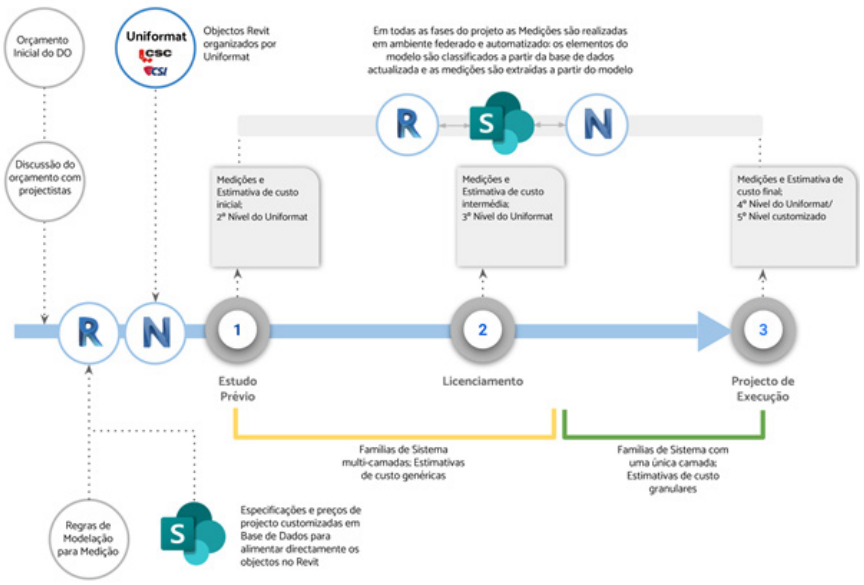


Figura 1
Esquema geral de extração de quantidade e orçamentação.

2.2. Identificação das necessidades de melhoria

Esta candidatura teve como objetivo reforçar as capacidades de desenvolvimento de software e de trabalho na nuvem da Consultora. Esta é entendida como a evolução natural do envolvimento em projetos domésticos de dimensão e complexidade crescentes, representando um CAPEX superior a mil milhões de euros e exigindo uma crescente otimização/redução de erros e capacidades de partilha de trabalho. Na verdade, uma das questões mais prementes na manipulação de quantidades a partir de modelos é, não apenas a fiabilidade do processo em sim, mas a capacidade de demonstrar e rastrear o processo de medição, comunicando-o de forma transparente a todas as partes. Pretende-se, portanto, trazer para a Gestão da Construção as eficiências experimentadas em indústrias como as TI e os serviços financeiros. Este reforço permite oferecer um serviço abrangente aos clientes tanto no país como em mercados externos maduros, através de uma maior visibilidade.

A partir da análise detalhada do processo de extração de quantidades descrito acima, escolheram-se os passos com maior potencial de melhoria, com menor investimento, de forma adequada à fase inicial do projeto Metabuilding.

Assim, e dado que a Consultora usa regularmente e de forma proficiente o sistema de classificação Uniformat II [2] na língua inglesa original, que tem traduzido para Português, optou-se por terminar esta tradução, o que permite a utilização simultânea nas duas línguas. Este sistema de classificação, que consiste numa única tabela que organiza as componentes de um edifício num Work Breakdown Structure (WBS), é adequado para o uso em vista e de aplicação simples.

Desenvolveram-se dois plugins, depois fundidos num único, para automatizar a extração de quantidade no software Navisworks:

- Introdução das especificações de cada artigo nos mapas de quantidades. Estas especificações são procuradas pela rotina diretamente na base de dados, o que significa que podem ser aperfeiçoadas até ao fim do trabalho.
- Automação da passagem dos objetos de modelo de forma integral para os artigos de medição correspondentes, gerando instantaneamente o Mapa de Quantidades. Por outras palavras, a rotina procura no modelo os objetos cujo código corresponda ao artigo de medição, e coloca-os no próprio artigo (os *search sets* são encaminhados para o WBS).

Em terceiro lugar, introduziram-se melhorias no tratamento de dados após a Extração de quantidades, no Excel, onde é feita a organização do Mapa de Quantidades, da Estimativa de Custos, através do desenvolvimento de rotinas de PowerQuery e macros em VBA.

Finalmente, melhorou-se a comunicação com o Cliente, através do desenvolvimento de *dashboard* online que mostra a utilizadores autorizados o mapa de quantidades no formato Excel tradicional, acompanhado do modelo tridimensional.

2.3. Candidatura Metabuilding

O projeto Metabuilding (https://www.metabuilding.com/) tem como objetivo ligar pequenas e médias empresas a organismos públicos e grandes empresas de diferentes sectores, a fim de criar uma cadeia de valor integrada no sector da construção. É financiado pelo *Research and Innovation Programme* do Horizonte 2020, da União Europeia e integra a Áustria, França, Hungria, Itália, Portugal, Espanha. Na base deste programa está a colaboração e partilha de conhecimento entre empresas e entidades destes países. O participante nacional no consórcio é a Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção.

Uma das iniciativas do programa são os vouchers inovação SEED, que apoiam ideias de inovação em PME até €5000, tanto em estado exploratório como projetos próximos do mercado (TRL 7-9).

Participaram na candidatura a Consultora como candidato e promotor e o ISTAR – Iscte o prestador de serviços. A submissão consistiu num formulário acompanhado pela proposta de desenvolvimento dos serviços. Apesar da divisão formal de tarefas, a submissão foi um trabalho colaborativo.

A candidatura ao programa SEED foi relativamente simples e contou com a colaboração do ponto de apoio nacional na orientação da candidatura e no esclarecimento de questões práticas, livre de burocracias excessivas.

3. Descrição dos desenvolvimentos

Nas próximas subsecções expõem-se cada um dos desenvolvimentos. Nem todos foram resultado exclusivo do projeto Metabuilding, mas como formam um conjunto coerente são apresentados de forma agregada.

3.1. Sistema de Classificação

O tema da classificação da informação relativa à construção (Construction Information Classification System – CICS) tem raízes antigas e o modo como é tratado está geralmente associado às geografias de origem e ao seu nível de desenvolvimento industrial.

A adoção de um determinado sistema de classificação pode, pelo efeito da massificação, trazer previsibilidade no planeamento dos empreendimentos e maior eficiência na comunicação entre atores da indústria da construção. Concomitantemente, pode também servir como promotor de práticas mais sustentáveis pelo uso de informação baseado em conceitos de sustentabilidade e de economia circular.

A metodologia descrita tem feito uso do Uniformat como base de classificação, não por se tratar de um sistema superior ou mais completo, mas por permitir uma leitura bastante expedita da sua estrutura. Isto facilita a comunicação com qualquer

interveniente, não o obrigando a ser especialista ou conhecedor das diferentes camadas que outros sistemas de classificação (multifacetados) apresentam.

Acresce, por outro lado, que a prática profissional de projetistas em todo o mundo é muitas vezes assente em regras de colaboração BIM que usam o Uniformat para segregar os elementos da construção. Resulta natural que o Uniformat seja adotado para outros fins dentro dos mesmos processos, como é o caso de um WBS para construir estimativas de custo. Esse facto enraizou-se de tal modo que organizações como o RICS reconhecem hoje ser necessário criar tabelas de correspondência entre standards como o International Construction Measurement Standards (ICMS) e o próprio Uniformat.

A iniciativa de traduzir o Uniformat para português, pareceu, também, pela sua dimensão, um trabalho mais facilmente alcançável, tarefa a que a Consultora se propôs realizar e para a qual contou com o apoio da Lipronerg, empresa de engenharia multidisciplinar.

No quadro da metodologia descrita, o Uniformat tem sido empregue em todas as fases de projecto, até ao seu 4º nível, recorrendo-se à criação do 5º nível de forma customizada, caso a caso, sem desvirtuar a lógica dos elementos funcionais que estrutura o sistema. O modo de tornar coerente o resultado final pressupõe que o descritivo de cada artigo inclua sempre as diferentes naturezas de trabalhos e materiais necessários à completa execução do mesmo, evitando a desagregação excessiva de informação como seria o caso do uso do Masterformat a partir do 5º nível. Neste último exemplo, importa referir que apesar da experiência da Consultora com o sistema Masterformat em mercados de matriz norte-americana como a Península Arábe, essa mesma prática nunca se mostrou frutuosa no mercado nacional. Sem a implementação deste standard no seio dos fabricantes e restante cadeia de produção, esgota-se o benefício de associar códigos a bases de preços, ou a famílias de materiais.

3.2. Plugin para introdução das descrições nos mapas de quantidades

Os *plugins* desta e da próxima secção foram desenvolvidos na linguagem de programação C# com o IDE (*Integrated Development Environment*) Visual Studio Community 2021 e tem sido utilizado no software Autodesk Navisworks 2021 com recurso à distribuição em .NET do SDK (*Software Development Kit*) disponibilizado. Deste SDK são utilizadas as bibliotecas de Takeoffs (Autodesk.Navisworks.Api.Takeoff), Data (Autodesk.Navisworks.Api.Data) e Plugins (Autodesk.Navisworks.Api.Plugins). A integração com o Excel é através da biblioteca FreeSpire.Xls.

O primeiro plugin tem como fim automatizar a criação do articulado do projeto, populando no WBS as descrições definidas externamente em formato XLS. Os dados provenientes deste ficheiro são especificações de projecto que geram a legendagem das peças desenhadas e artigo de medição, anulando hipóteses de informação contraditória entre diferentes peças de projecto.

A passagem automatizada de toda a informação é feita com o plugin desenvolvido e pode ser realizada como última tarefa de medição. Daqui resulta que a parte mais substantiva do trabalho de medição e orçamentação consiste na preparação do WBS, artigo a artigo, analisando e testando cada objeto a medir e estabelecendo o critério de medição a aplicar. Esta fase de análise de modelos e interação com o projetista revela-se crucial no aporte qualitativo ao processo de medição como um todo, ficando a dimensão mais laboriosa e que tipicamente consome mais tempo a cargo da computação.

O utilizador fornece ao plugin o caminho do ficheiro Excel que contém as descrições, e qual a folha e as colunas dos códigos e descrições que se pretende integrar no WBS. O *plugin* acede depois à base de dados interna do modelo e produz uma estrutura de objetos C# numa hierarquia em árvore que replica o WBS. Esta é percorrida recursivamente até aos níveis mais profundos, onde são feitas as atualizações das descrições. Todas estas atualizações são registadas e incluídas num ficheiro de *log* em formato CSV (*comma-separated values*). Assim, o mapa de quantidades no Navisworks passa a conter as descrições dos códigos de projeto (os *keynotes*), que passam a constar dos mapas de quantidades e estimativas de orçamento gerados.

3.3. Automação da passagem dos *search sets* para o WBS

O segundo plugin permite associar objetos contidos em *Search Sets*, definidos através do sistema de classificação, aos capítulos do Quantification Workbook, permitindo que um modelo bem classificado seja medido de forma quase instantânea.

Quando acionado, o *plugin* começa por percorrer recursivamente os *search sets* e avalia se têm os elementos selecionados. Cada vez que encontra um destes *sets*, percorre toda a árvore do WBS (à semelhança do procedimento descrito na secção 3.2) até às entidades nos níveis mais profundos da árvore. O título do *search set* é comparado ao nome de cada uma destas entidades e quando há uma equivalência, as geometrias tridimensionais deste *set* são inseridas no WBS.

Os ganhos de produtividade são significativos. Não obstante, mantém-se a necessidade de acompanhar esta atribuição, e fazer verificações extensivas, principalmente na primeira medição de cada modelo. Depois de se ganhar confiança as medições posteriores podem ser feitas mais rapidamente. Com o crescimento da automação, é necessário controlar a qualidade da classificação dos modelos, pois um código mal atribuído irá ter como consequência a entrada do elemento no capítulo errado.

3.4. Dashboard

Os mapas de medições, quantidades e estimativas de custos são documentos extensos e que devem ser lidos em conjunto com os elementos de projeto, seja no formato de desenho seja nos próprios modelos. Ora esta leitura conjunta exige prática e pode ser confusa, exigindo a procura dos códigos de projeto nas duas vistas do projeto. Exigem ainda que o utilizador tenha os *softwares* necessários para ler o modelo. Foi

assim desenvolvido um *dashboard* online, com acesso controlado, que permite ler o orçamento e o modelo realçando neste o item selecionado. torna-se assim claro para o utilizador ou quais os elementos construtivos associados a cada entrada do orçamento, e como se integram na obra. É assim possível compatibilizar os itens medidos e orçamentados com a sua localização e integração na obra, de forma acessível a qualquer utilizador sem conhecimentos de modelação e sem necessidade de instalação de *software*. Consegue-se assim pôr a informação do modelo BIM à disposição de gestores de projeto, executivos e decisores.

O dashboard é disponibilizado no *browser* e , na primeira versão, baseia-se no Microsoft PowerBI para disponibilização do orçamento e na plataforma Forge da Autodesk para visualização do modelo. Sendo a manipulação da informação no servidor, não há limitações ao tamanho e complexidade do modelo e orçamento, cuja segurança é assegurada pois não pode ser descarregado. A folha de cálculo contém um código para cada entrada. Este código é o parâmetro de mapeamento entre a folha e o modelo. O código para o visualizador é desenvolvido com recurso ao PowerBI Custom Visuals na linguagem TypeScript, onde é feita a integração com a ForgeViewer API. Esta aplicação em TypeScript pode ser integrada no dashboard através da criação de um pacote que pode ser depois importado como um "custom visual" no dashboard, ou correndo a aplicação em servidor local e integrando um componente "visual de programador" no dashboard que vai consumir a aplicação num porto pré-definido.

Para integrar o visualizador com a folha de cálculo, é necessário adicionar o parâmetro de mapeamento (correspondente a uma das colunas da folha de cálculo) ao "visual de programador". A aplicação deteta as seleções na folha de cálculo, cruzando o(s) código(s) da(s) entrada(s) com os elementos no modelo e os elementos correspondentes no visualizador surgem realçados e os restantes elementos passam a *wireframe*.

4. Caso de Estudo

Nesta secção apresenta-se a primeira aplicação a um caso real. É neste confronto com a realidade que podemos testar a real utilidade e limitações dos desenvolvimentos. O Projecto/Obra é um edifício de escritórios, inserido num desenvolvimento urbanístico de grande dimensão. Trata-se de um edifício de raiz com uma grande densidade de infraestruturas (vários sistemas de hidráulica e AVAC) e uma equipa muito especializada com mais de dez empresas de projecto, nacionais e internacionais a trabalhar em simultâneo. A imagem seguinte mostra o interface acima descrito, numa fase de desenvolvimento.

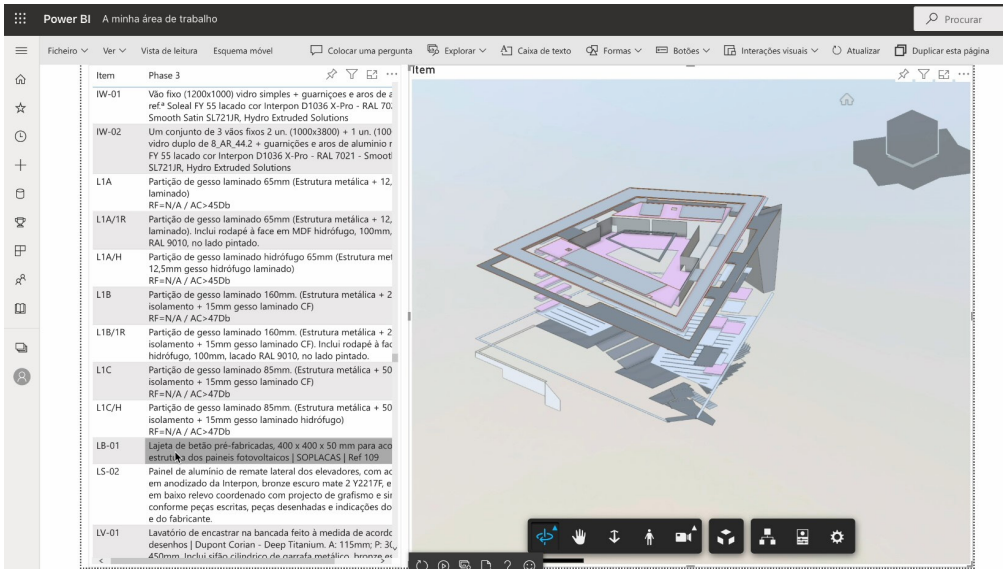


Figura 2
Dashboard PowerBi com integração do modelo BIM do BIM 360.

Estes desenvolvimentos foram testados em fase de consulta de empreitada. No que diz respeito à medição, na fase final do projecto de execução foi necessário unificar medições de dez especialidades, grande parte das quais medidas em Navisworks usando os plugins desenvolvidos, tendo-se obtido ganhos de eficiência, medidos em horas necessárias para a quantificação a partir dos modelos com e sem os plugins, superiores a 50%. O facto de todos mapas de quantidades terem sido entregues em Uniformat facilitou este trabalho, assim como a alocação de custos por localização no edifício. Foi utilizado o Excel *Power Query,* que ainda permite atualizar os dados quando existem novas versões das medições, para esta tarefa por permitir tratar dados que por vezes nem sempre coerentes de forma rápida e flexível. O Excel resultante que permitiu ligar os códigos existentes nas medições com os códigos correspondentes nos modelos. Estes códigos podem ser aplicados nos modelos como "Type" (mais comum na Arquitectura) ou como "Instance" (mais comum no AVAC, Hidráulica e Eléctricas).

Quanto ao dashboard, foi empregue na apresentação e discussão das medições em sede de gestão de projeto e apresentação dos orçamentos. Sendo aqui os ganhos menos tangíveis, a sua utilização foi considerada valiosa, e foi requerida a sua implementação no projeto.

5. Conclusões

Este projecto alinha-se com a Estratégia Nacional Indústria 4.0 e com a iniciativa Green Deal/Nova "Bauhaus Europeia" da UE. É aceite que a indústria AECO está atrasada em relação a indústrias semelhantes em vários indicadores chave: evolução da produtividade, digitalização, investimento em I&D, e objetivos de sustentabilidade. As empresas de gestão BIM e de projeto, trabalhando em todas as fases do ciclo de vida e trabalhando em parceria com projetistas e contratantes, catalisam diretamente o seu meio envolvente. Por outro lado, este projeto estabelece pontes entre as empresas e os centros de investigação e universidades.

O impacto do projeto na Consultora tem várias dimensões. Por um lado, aumenta a produtividade, automatizando tarefas que são repetitivas e suscetíveis a erros caso sejam feitas de forma manual ou semi-manual. Isto repercute-se no rendimento das tarefas e na melhoria do serviço prestado aos clientes, permitindo não só maior rapidez, o que leva a que as estimativas de custos passem a ser feitas de forma mais completa e frequente, ao longo do desenvolvimento do projeto, e não só no final das etapas. Tendo esta possibilidade, a própria filosofia de gestão de custos é alterada. Por outro lado, o *dashboard* de medições e estimativa de quantidade1s online permite extrair mais valor dos modelos, permitindo duas valências diferentes: por um lado, a sua compreensão e uso por não profissionais da construção, ou por profissionais que não têm experiência com os softwares BIM, e por outro lado, extrair mais conhecimento dos modelos e estimativas de custos, ao permitir a comparação entre ambos.

Estão em perspectiva outros desenvolvimentos, tanto na automação de processos como na utilização de plataformas online. No que diz respeito à automação, há margem para progressão, mas entende-se também que devem persistir pontos de controlo onde se avalia a correção dos processos. O uso da tecnologia deve refletir este equilíbrio. Já no que respeita à visualização de informação e geometria em interfaces intuitivos, trabalhamos em visualizações que são feitas habitualmente nos *softwares*, como o faseamento da construção ou a classificação dos modelos, e outras que podem ser úteis na comunicação com o público, investidores ou autoridades.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Metabuilding (H2020 G.A. No. 873964) e pelo 19_Call#2_SECClasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System, financiado pelo EEA Grants Portugal e parcialmente financiado pela FCT/MCTES no âmbito do projeto UIDP/04466/2020 da Unidade de I&D ISTAR-.

Referências

[1] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, and P. Teicholz, *BIM Handbook – A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, 3ª ed. Wiley, 2018.

[2] A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, *Building information modeling : technology foundations and industry practice*. Springer, 2018.

[3] Santos, R, "Integration of LCA and LCC with BIM for the environmental and economic assessment of buildings", PhD thesis, Lisbon University, 2019.

[4] P. Torgal, *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling*. 2020. doi: 10.1016/B978-0-12-819055-5.00001-2.

[5] S. Siebelink, H. Voordijk, M. Endedijk, and A. Adriaanse, "Understanding barriers to BIM implementation: Their impact across organizational levels in relation to BIM maturity", *Frontiers of Engineering Management 2020 8:2*, vol. 8, no. 2, pp. 236-257, Mar. 2020.

[6] M. C. Tagg, "The State of BIM-Based Quantity Take-Off Implementation Among Commercial General Contractors", 2017. MSc thesis, BYU University

[7] A. Monteiro and J. Poças Martins, "A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design", *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 238-253, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.AUTCON.2013.05.005.

[8] Building Smart Finland, "COBIM 2012 – Series 7: Quantity take-off", 2012.

[9] P. State, *BIM Project Execution Planning Guide*, Version 2. 2019.

[10] R. P. Charette and H. E. Marshall, "UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating and Cost Analysis". 1999.

A sinergia entre o BIM-*Lean-Green* aplicado nas adequações das edificações religiosas pós-pandemia

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.16

Geórgia Jereissati[1], **José Oliveira**[2], **José Cavalcante**[3], **Francisco Oliveira**[4]

[1] *CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2683-2748*

[2] *CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0002-2417-9653*

[3] *CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2205-9241*

[4] *CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-0089-3112*

Resumo

Os templos religiosos recebem milhões de turistas, por isso precisam frequentemente se adaptar para ofertar serviços de qualidade. No último ano, em virtude da pandemia, estas edificações tiveram que se adaptar rapidamente e buscar maneiras de otimizar a elaboração de projectos para execução e manutenção destas edificações, com baixos custos. Este trabalho, parte integrante da pesquisa, que está sendo desenvolvida no curso de doutoramento em arquitectura, visa apresentar como o setor de manutenção e projectos de grandes santuários de peregrinação Mariana no contexto luso-brasileiro, estão se adequando às novas tecnologias, a fim de propor melhorias, em ordem à promoção da sustentabilidade, enquanto fator de diferenciação e atratividade, turística cultural e religiosa, bem como utilização do *Building Information Modelling* (BIM) e as ferramentas da Construção Enxuta (*Lean*). Realizaram-se entrevistas com os responsáveis pelo setor de manutenção e projetistas dos Santuários de Fátima (Portugal), Aparecida do Norte (SP), Fátima (CE). Traçou-se a realidade destes setores e foram elaboradas sugestões com o fito de reduzir custos, aprimorar serviços, auxiliar projectos e agilizar a execução e manutenção de obras com maior índice de acertos. Conclui-se que a utilização da sinergia entre o BIM-*Lean-Green* beneficia potencialmente qualquer tipo de edificação, porém poderia ser bem mais utilizada.

1. Introdução

Uma vez que as edificações religiosas, entre elas os Santuários Marianos, a cada dia atraem milhares de peregrinos, principalmente nos dias festivos, necessitam de uma estrutura que possa recebê-los com conforto e assegurar sua saúde. Assim obrigam-se a adaptar-se com projectos que devem manter a sua atratividade, minimizar o consumo de energia, dentre outros.

Para poder atender com segurança e bem-estar os visitantes, principalmente em tempos pós-pandemia, estes espaços necessitam continuamente de perfeita manutenção, além de novos projectos, sejam eles de construção e/ou reforma dos espaços existentes e contam com setores ou terceirizam escritórios dotados de profissionais capacitados para gerir esses projectos.

A atual crise económica e ambiental em diversos países, principalmente ocasionada pela pandemia, fez com que as construtoras procurassem maneiras para continuar mantendo seus clientes em um excelente padrão de qualidade e satisfação, com novos métodos para uma obra mais rápida, económica e sustentável [1]. Porém, para conseguir cumprir as metas de crescimento, as empresas precisam adquirir novas competências e capacidades para tornar-se competitivas frente ao novo contexto mercadológico que atuará [2].

De acordo com [3], os problemas constantes da construção em todo o mundo são bem conhecidos: baixa produtividade, segurança precária, condições insatisfatórias de trabalho e qualidade insuficiente.

No cenário da crise económica pós-pandemia, impõe às empresas a necessidade de revisar seus procedimentos, a fim de obter maior produtividade e redução de desperdícios. Assim, o uso do BIM surge como um dos recursos para auxiliar empresas de engenharia e arquitectura a projetar e executar obras com maior índice de acertos, menor custo e menos imprevistos ao longo do processo, por o uso da metodologia BIM cresce a cada dia [4].

Isto pode ser considerado como uma inovação, por ser uma representação digital de características físicas e funcionais da construção, servindo como fonte de informações e dados compartilhados sobre o ambiente, criando uma base de dados confiável para tomadas de decisões durante sua vida útil desde sua conceção. [5]. Além do que a modelagem digital possibilita um novo formato ao desenvolvimento dos projectos [6].

A ideia da construção sustentável tem ocorrido de forma não estruturada na indústria de arquitectura, engenharia e construção (AEC) e conduzida por diferentes setores das empresas e, muitas vezes, por diferentes empresas que atuam em um mesmo projecto [2], inerentes às certificações ambientais, que gradativamente estão se tornando uma exigência no setor.

Dessa forma, este artigo investiga as interações entre os três conceitos, BIM, *Lean* e *Green*, com o objetivo de apresentar o panorama atual de organização do setor de

manutenção e projectos de grandes Santuários Marianos, no contexto luso-brasileiro, para propor melhorias, tendo em vista promover a sustentabilidade, enquanto fator de diferenciação e atratividade turística, cultural e religiosa. Este trabalho contribui para compreensão dos desafios e perspetivas da internacionalização, que associa os três temas os quais transformam o projecto.

Quanto aos Santuários Marianos selecionados como casos de estudo, Santuário de Fátima (Portugal), Santuário Nacional de Aparecida do Norte (Brasil) levou-se em conta a relevância no turismo religioso mundial, já o de Nossa Senhora de Fátima, na cidade de São Benedito, no estado do Ceará (Brasil), foi escolhido por ter em seu projecto utilizado técnicas que visam a sustentabilidade no templo, bem como por ser de grande importância para o turismo regional.

2. Estado da Arte

2.1. Building Information Modelling (BIM)

O BIM é compreendido como um conjunto de ferramentas, tecnologias e processos que são auxiliadas por meio de uma máquina digital de leitura de documentação sobre um empreendimento, sua performance, seu planejamento, sua construção e seu funcionamento [6]. Quando executado de forma correta, o BIM facilita a integração do processo de conceção e de construção, o que resulta na melhoria da qualidade dos empreendimentos, na otimização dos custos, confiabilidade da duração de construção. [2]

A Figura 1 apresenta o ciclo de vida do projecto a partir da implantação de um modelo BIM. Observa-se que a ideia inicial do ciclo começa com o conceito do empreendimento, estudo de viabilidade (realizam-se análises críticas e possíveis alterações), define-se o conceito do projecto. São geradas as documentações, seguindo para a produção industrial e construção, que terá um acompanhamento com gerenciamento do tempo e do custo. Assim é prevista a melhor logística e finalização da construção. O BIM orienta as operações e manutenções por toda vida útil do empreendimento, iniciando um novo ciclo de vida do projecto

Figura 1
Uso e abrangência geral do conceito BIM [9].

O BIM por se tratar da criação de um modelo 3D inteligente atribuindo informações de maneira integrada e parametrizada de construção, insumos e manutenção aos objetos e ao empreendimento em suas diversas disciplinas, com isso é possível tomar decisões mais complexas e assertivas devido a maior quantidade de informações de diferentes tipos serem modelados, dando então aquele modelo um maior número de dimensões. [9]. Segundo [10], as dimensões do BIM são classificadas a seguir:

- **3D Modelagem:** acrescenta dimensão espacial à representação plana, permite visualizar os objetos em perspetiva.
- **4D Cronograma:** adicionam-se informações referentes ao tempo. Permite elaborar o planejamento.
- **5D Orçamento:** trata do custo da obra, alocação de recursos e o impacto no orçamento;
- **6D Sustentabilidade:** ajuda a realizar análises energéticas. Para aferir o atendimento às normas ou certificações para edificações sustentáveis, utiliza-se *softwares* de simulação energética, que auxiliam nos ajustes do modelo BIM, quanto ao gerenciamento de energia. [11]
- **7D Gestão das Instalações:** adiciona a dimensão de pós ocupação ao modelo, na qual permite ao usuário extrair informações dos elementos para eventuais manutenções.
- **8D Segurança:** é possível identificar os riscos oferecidos pelo ambiente de trabalho por ações individuais do trabalhador, a gerar um local seguro, que segue protocolos contra acidentes. [12]
- **9D *Lean Construction*:** A produção enxuta, na qual tem-se a redução das perdas, fluxo de produção, padronização, alto nível de organização do trabalho, mecanização, dentre outros;
- **10D Construção Industrializada**: é a industrialização da construção, que permite a execução de produtos padronizados, com nível de qualidade elevado, na qual cria-se um ritmo de produção que propicia ordem ao ambiente de trabalho.[13]

É fato que para alcançar essas dimensões é necessário que haja a colaboração, parametrização e interoperabilidade como requisito e o BIM seja entendido como um processo [7].

Observa-se que é comum existir variações e adaptações na definição dos níveis de desenvolvimento para diferentes autores de documentos e guias BIM adequando-os a realidade do local [10] [14] apresentou os principais benefícios que os construtores consideram com a introdução do BIM em suas empresas, isto é: marketing para esses produtos, redução do tempo de duração dos projectos, melhor controle e previsibilidade do custo, redução do custo de construção e retrabalho, melhora da imagem da empresa, colaboração entre empresários projetistas, erros e omissões reduzidas.

2.2. Construção Enxuta (*Lean Construction*)

Ao final da década de 50 do século passado, o Sistema Toyota de Produção (STP) começou a ser utilizado em diversas organizações, tendo como princípios a eliminação de desperdícios e a produção com qualidade [15]. Em 1992 Koskela, tendo como base os princípios do STP, apresenta o conceito de Construção Enxuta, que traz uma grande mudança, tendo o reconhecimento do fluxo do processo como parte gerenciável em detrimento da visão da conversão [3].

Assim, a Construção Enxuta objetiva fazer fluir os materiais através dos processos, agregando valor, sem haver desperdícios e interrupções, até que este alcance o cliente de forma a satisfazer as necessidades do mesmo. Estudos realizados em diferentes países confirmaram que as perdas representam uma percentagem relativamente grande dos custos de produção [3], por isso se torna palavra-chave para as empresas que adotam o *Lean*.

De acordo com [15], são sete perdas ou desperdícios no processo (Figura 2): superprodução, espera, inventário, movimentação, transporte, processamento e defeitos:

Figura 2
As sete perdas da produção. Adaptado de [16].

As perdas na construção civil devem ser entendidas como qualquer ineficiência que se reflita no uso de equipamentos, materiais, mão de obra e capital, em quantidades superiores aquelas necessárias à produção da edificação, ou seja, englobam tanto a ocorrência de desperdícios de materiais, quanto a execução de tarefas que geram custos adicionais e não agregam valor [16]. [17] afirmam que a filosofia *Lean* quebrou paradigmas gerenciais conservadores, dando espaço à inovação e à melhoria contínua das empresas, auxiliando-as a obter um estilo gerencial preparado frente às mudanças impostas pelos clientes e pelo mercado.

2.3. Construção Sustentável (*Green Construction*)

A partir do século passado deu-se um avanço na industrialização mundial e desde então o homem vem lançando na natureza produtos que agridem o meio ambiente, sempre tendo em vista seu desenvolvimento com o detrimento deste. A partir dos

anos 60 começam a aparecer as primeiras ações visando um modelo de desenvolvimento sustentável.

O conceito de sustentabilidade surge como uma resposta preventiva para a possibilidade de colapso do modelo de civilização dominante, tanto numa perspetiva conservadora, considerando essencial o princípio da precaução, como numa perspetiva reformista, questionando os modos de produção e de consumo que imperam [18].

Construir passa a ser não somente seguir e gerenciar projectos pensando em um produto que agrade ao cliente, mas desenvolver estes projectos com reduzida interferência no meio ambiente.

Para uma construção ser dita sustentável, tem que obedecer a alguns critérios como: controlar a geração de resíduos; reutilizar materiais e águas cinzas; utilizar aparelhos que controlem o uso da água; buscar a eficiência energética das edificações, principalmente com o uso dos recursos naturais. Ressalta-se que o empreendimento sustentável se torna mais caro, contudo é um investimento, uma vez que o uso de materiais sustentáveis agrega valor ao produto final.

É notório a grande dificuldade da AEC em construir sem gerar impactos ambientais, mas existem tecnologias que podem ser empregadas nas construções para não atingir tão agressivamente a natureza, a fim de promover edifícios confortáveis e *ecofriendly*s [19].

De acordo com [20], as diretrizes gerais para tornar uma construção sustentável podem ser resumidas em nove passos essenciais, apresentados na Figura 3, a seguir:

Figura 3
Nove passos essenciais para a sustentabilidade. Adaptado de [19].

Com o tempo, as construções sustentáveis começaram a crescer e surge a questão de quantificar o quão sustentável é a edificação, assim criaram-se as certificações ambientais, nas quais é assegurada a qualidade ambiental de um empreendimento.

Geralmente, a análise de sustentabilidade nos projectos é conduzida no final da fase de projecto, quando praticamente todos os materiais já foram escolhidos. No entanto, alcançar uma solução integrada de *design* sustentável antes da construção significa que a equipe de *design* deve gerenciar interdependências recíprocas de tarefas ao tomar decisões relacionadas à seleção da alternativa de *design* mais adequada que levará a edifícios sustentáveis e eficientes [21].

2.4. Sinergia entre o BIM-*Lean-Green*

É notório que nos últimos 20 anos, o setor de desenvolvimento de projectos de edificações vem sofrendo alterações significativas. Na década de 1990, o movimento pela implantação dos sistemas de gestão da qualidade nas empresas ligadas à indústria da construção civil levou os construtores ao reconhecimento da importância do projecto na redução de desperdícios e racionalização da construção [6].

Normalmente as empresas preparam seus projectos em etapas como arquitectura, estrutura, instalações e outros, onde em cada área está responsabilizada por um profissional específico, o que torna esse método por existência, fragmentado. Além disso cada setor específico do projecto global, realiza sua parte desconexo dos demais, complicando a possibilidade de uma comunicação entre os participantes do projecto, afetando sua qualidade, deixando-o lento, custoso e favorável a gerar desperdícios e falhas desnecessárias [22].

Percebe-se que a AEC começou a adotar os princípios do *Lean* e do BIM, a fim de melhorar a qualidade dos projectos e evitar que falhas de compatibilização, ausência de detalhamento, de construtibilidade, dentre outros, sejam percebidos apenas durante a construção, gerando custos.

A comunidade científica tem investigado apenas as interações entre esses três temas em pares tornando os benefícios de sua integração pouco conhecidos, conforme apresentado na Figura 4.

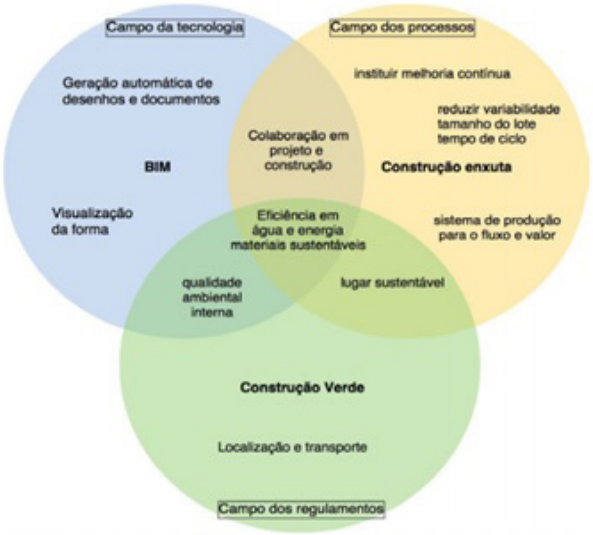


Figura 4
Diagrama de Venn com os campos de conexão predominantes [2].

Concluindo, para se ter uma edificação que utilize os três conceitos, faz-se necessário que seja eficiente quanto ao uso de água e energia, além de ter o uso de materiais sustentáveis. Percebe-se que os três conceitos estão interligados, visto que um dos princípios do *Lean* é a redução das perdas, fazendo que o projecto se torne sustentável, com a aplicação da metodologia BIM.

3. Metodologia

Inicialmente, realizou-se uma estruturação dos conceitos envolvidos, através de uma extensa pesquisa bibliográfica, a fim de embasar teoricamente o artigo. Estudou-se a respeito das definições, extraindo-se informações que permitam encontrar a sinergia entre os conceitos BIM, *Lean* e *Green,* aplicados nos projectos de construção civil. Concomitantemente foram selecionados 3 santuários:

- Santuário de Fátima (Portugal) – SPT;
- Santuário Nacional de Aparecida (Aparecida do Norte Brasil) – SBR1;
- Santuário de Fátima da cidade de São Benedito (CE-Brasil) – SBR2.

Nestes santuários foi aplicada uma pesquisa de campo, sobre a utilização dos três conceitos, com uma aplicação de um questionário, no Google Forms, para conhecer o atual cenário do setor de projectos dos santuários, em relação à sua adaptação frente a implementação de novas tecnologias, como as estudadas nesta pesquisa.

Foram entrevistados os responsáveis pela manutenção do SPT, SBR1 e SBR2, a fim de conhecer o funcionamento deste, como também o projetista do SBR2 e o responsável pela gerência dos projectos do SBR1, nos quais aplicaram-se os seguintes questionamentos:

a) Quem é o responsável pela gestão direta da manutenção e dos novos projectos?
b) Sobre a forma de gestão de sua área de manutenção é centralizada ou descentralizada?
c) Existe uma programação anual de treinamento para o pessoal da manutenção? (em caso positivo, indicar se essa programação é elaborada pela área de manutenção, recursos humanos ou outra)
d) Se respondeu sim à questão anterior, informar a média anual de cursos/colaborador.
e) A equipe de manutenção é própria, terceirizada ou mista?
f) Quais modalidades de manutenção são praticadas pela organização?
g) Como são mapeados e controlados os diferentes tipos de atendimento ou serviços (corretivas, preventivas, preditivas, chamados, etc.)?
h) Vocês conhecem o BIM e o *Lean*?
i) Pretendem utilizá-lo em sua organização?
j) Utilizam algo da Construção Sustentável?
k) Quais materiais ou técnicas sustentáveis utiliza?
l) É possível afirmar que os procedimentos para manutenção preventiva são aplicados?

Salienta-se que, mesmo não estando no questionário, foi indagado quais e como foram feitas as alterações devido ao distanciamento social que deve ser obedecido diante do quadro pandêmico, quais medidas foram adotadas visando a proteção dos peregrinos.

Foram observadas as vantagens e desvantagens da implementação das metodologias e de seus processos nos santuários, bem como as principais dificuldades enfrentadas no processo de aplicação destes pelos usuários. Com base nos resultados obtidos, realizou-se uma discussão sobre a implementação e aplicação das três tecnologias nos santuários marianos, tendo em vista os benefícios destes na conceção de projectos e no ciclo de vida das edificações.

4. Resultados e discussões

Após a aplicação do questionário, realizou-se a análise conjunta das informações (Figura 6). Observa-se que SPT e SBR1 utilizam mão de obra mista e o SBR2 terceirizada. Os três santuários possuem forma de gestão de sua área de manutenção centralizada. No SPT não existe uma programação anual de treinamento para o pessoal da manutenção, no SBR1 tem para a mão de obra própria, onde a demanda é feita pelos funcionários e autorizada pela chefia, não tendo uma quantidade fixa de cursos ofertados e no SBR2 não tem, pois a equipe é toda terceirizada. Nos SPT e SBR1 são realizadas as manutenções preventivas, preditivas e corretivas, já no SBR2 só as corretivas, conforme mostrada na Figura 5.

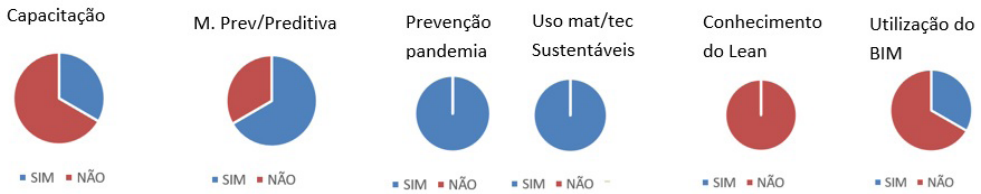


Figura 5
Resultado da pesquisa de campo.

Quanto ao controle e mapeamento dos atendimentos não se obteve resposta do SPT, já no SBR1 existe um programa que gera e controla todas as Ordens de Serviços, que as encaminha aos funcionários responsáveis, controlando inclusive o tempo para resolução do chamado, já no SBR2 não existe nenhum controle, vão sendo resolvidas as demandas à medida que aparecem.

Os três Santuários conhecem o BIM, inclusive SBR2, por ser o mais novo, foi todo projetado no software ARCHICAD. O SPT e SBR1 pretendem utilizar em seus novos projectos, para isso SBR1 está a capacitar seus funcionários próprios.

Quanto à construção sustentável, os três utilizam tanto materiais e técnicas sustentáveis, principalmente no que tange à eficiência energética, controle de resíduos, economia de água, utilização de materiais sustentáveis. Sobre o *Lean*, não sabiam do que se tratava, porém, mesmo sem saber SBR1 já utiliza vários conceitos, tais como Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV), e a autonomação.

Os Santuários SPT e SBR1 possuem uma rigorosa manutenção preventiva, onde controlam até mesmo a vida útil das lâmpadas, porém no SBR2 não existe nenhuma.

Quanto às medidas preventivas de distanciamento social, não foram coletadas no questionário aplicado no SPT, porém observadas no site do santuário, onde se percebe que foram aumentadas as distâncias dos bancos, bem como marcados os locais possíveis de serem utilizados; foram ainda colocados totens para higienização das mãos, grades para controle de entrada de peregrinos. Já no SBR1, 80% dos bancos de madeira foram retirados e substituídos por cadeiras individuais; nos bancos remanescentes foram marcadas as indicações de onde os fiéis se podem sentar e totens de higienização das mãos com álcool também foram colocados, bem como grades, para controlar o fluxo de pessoas que adentram no santuário. No SBR2 foram observadas as mesmas medidas do SPT.

5. Conclusão

Tendo em vista que as edificações religiosas a cada dia atraem milhares de pessoas, têm que se adaptar promovendo projectos, que visem o conforto e assegurar a saúde dos peregrinos, mantendo a atratividade, ampliando a estrutura de recetivo, com baixo custo.

Através do desenvolvimento do presente estudo, foi possível entender os conceitos envolvidos no uso dos conceitos BIM, *Lean* e *Green* nos projectos de manutenção e construção dos santuários. Além disso, torna-se percetível a forma com que os santuários estão tentando adaptar-se às evoluções que ocorrem e transformam a realidade da cadeia produtiva da construção civil, demandando assim a busca por conhecimento e adaptação por parte dos profissionais responsáveis, principalmente dos gestores, para que estes possam garantir ambientes mais confortáveis, menos danosos ao meio ambiente e com menores custos.

Salienta-se que os três santuários compatibilizam seus projectos, porém manualmente, com exceção do SBR2, que possui todos seus projectos já em BIM. Percebe-se a importância da etapa de compatibilização para evitar retrabalho e desperdícios na fase de construção/reforma. Contudo, tal etapa utilizando o método tradicional 2D torna-se um processo exaustivo e complexo, e com o uso da metodologia BIM o processo fica além de mais rápido, preciso, trazendo assim vários benefícios para a AEC.

Destaca-se que neste campo de pesquisa tem-se ainda há muito a se explorar. Assim sendo, dessa forma, é imprescindível um maior cuidado nos procedimentos e análise de todos os materiais e técnicas que são utilizadas atualmente, para se inteirar do que está sendo feito, não só no Brasil e em Portugal, mas em todo o mundo, para poder propor orientações que tragam contribuições para eficiência energética deste tipo de edificações.

Referências

[1] D. C. Barbosa, E. A. Gomes, H. S. Fermino, I. E. Morais, I., J. F. Simões, V. M. Vieira, V, "Construção Modular em Estrutura Metálica com Adequação ao BIM 10D", Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Judas Tadeu, Minas Gerais, Brasil, 2021.

[2] J. B. P. D. Filho, L. F. Cândido e J. P. Barros Neto, "Sinergia entre construção verde, construção enxuta e BIM para internacionalização da construção: Uma revisão sistemática da literatura", *in XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, São Paulo: ANTAC, São Paulo, Brasil, 2016, pp. 74-85.

[3] L. Koskela, *Application of the new production philosophy*. Stanford, Stanford University, 1992.

[4] A. C. M. Barbosa, "A metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia", Tese de Mestrado, Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2014.

[5] NBIMS – US. National BIM Standard United States, 2012. About The National Bim Standard-United States®. url: https://www.nationalbimstandard.org/about

[6] E. R. Santos, T.M.P. Duarte e M.S. Salgado,"Gestão de equipes no processo de legalização de projetos de edificações utilizando a plataforma BIM", *in XVI ENTAC (2016)*, ANTAC, São Paulo, Brasil, 2016, pp3255-3264

[7] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação.* Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2014

[8] J. C. Nascimento, L. C. Correia, *Fluxos BIM, para desenvolvimento de projetos arquitetónicos*, Curitiba, PR, Brasil: CAU, 2019

[9] T. Campestrini, M. Garrido, R. Mendes, S. Scheer e M. Freitas, *Entendendo BIM: Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação*. Curitiba, Paraná: UFPR: 2015.

[10] C. W. Comarella, E. V. Ferreira, R.K. Silva, "Níveis de Desenvolvimento BIM de Guias Nacionais e Internacionais – Estudo de Caso", Trabalho de conclusão, Curitiba, Universidade Positivo, Curitiba, PR, Brasil, 2016.

[11] M. E. Amorim, R. T. H. Feuerharmel, A. L. P. Abreu, "Avaliação do desempenho energético nas etapas iniciais de um processo BIM de um projeto público", *in IX ENSUS*, UFSC, Florianopolis, SC, Brasil, 2021, pp 470-481.

[12] I. Kamardeen, "8D BIM modeling tool for accident prevention through design", in *26th annual ARCOM conference. Leeds: Association of Researchers in Construction Management (2010)*, Leeds, UK, 2010, pp. 281-289.

[13] C. E. M. Gomes, A. L. Vivan, E. P. Sichieri e J. C. Paliari, "Light Steel Frame: Construção industrializada a seco para habitação popular: Práticas sustentáveis", in *Encontro Latino Americano de edificações e comunidades sustentáveis (2013)*, Curitiba, Paraná, Brasil, 2013. doi: 10.12702/978-85-89478-40-3-a022

[14] McG.H. Construction, "The business value of BIM for construction in major global markets: How contractors around the world are driving innovation with building information modeling", *Smart MarketReport*, pp. 1-60, 2014. s.l. url: https:// icn.nl/pdf/bim_construction.pdf

[15] T. Ohno, *O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala*. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman,1997.

[16] C. T. Formoso, C. M. Cesare, E. M. V Lantelme e L. Soibelman, "As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor", *Egatea*, vol. 25 (3), pp. 45-53, 1997.

[17] L. F. Cândido, J. Q. Carneiro, L. F. M. Heineck, " Uma visão *Lean* do gerenciamento do valor agregado aplicado a projetos de construção", *in XV ENTAC (2014)*, ANTAC, Maceió, AL, Brasil, 2014, pp. 1418-1427, url:http://doi.org/10.17012/entac2014.603

[18] J. Mourão, J.B. Pedro, *Princípios de edificação sustentável*. Lisboa, Portugal: LNEC, 2012.

[19] Z. Ding, Z. Fan, V. W. Tam, Y. Bian, S. Li, I. C. S. Illankoon & S. Moon, "Green building evaluation system implementation". *Building and Environment*, vol.133, pp. 32--40. 2018.

[20] M. A. ARAÚJO, "A moderna construção sustentável", *AECweb*. Brasil, 2016, url: https://www.aecweb.com.br/cont/a/a-moderna-construcao-sustentavel_589

[21] F. Jalaei, F. Jalaei, S. Mohammadi, "An integrated BIM-LEED application to automate sustainable design assessment framework at the conceptual stage of building projects", *Sustainable Cities and Society*, v. 53, p. 101979, 2020.

[22] P. Praia, "A plataforma BIM na compatibilização de projetos de arquitetura e estrutura: estudos de caso", Dissertação de Mestrado, Brasília, Universidade de Brasília, DF, Brasil, 2019. p. 180, 2019.

Modelação da informação e ferramenta digital orientadas à produção automática do MQT no contexto da disciplina de Arquitetura

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.17

Lucas Vieira[1], **Marta Campos**[2], **José Granja**[3], **Miguel Azenha**[4]

[1] *Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1157-1362*

[2] *Marta Campos Atelier de Arquitetura, Vila Nova de Gaia*

[3] *Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0002-0858-4990*

[4] *Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

Baseado na prática do atelier 'Marta Campos Arquitetura', este trabalho aborda o desenvolvimento de uma ferramenta digital, no âmbito das tecnologias BIM, que permite gerar automaticamente um relatório integrado de especificações técnicas e quantidades, nomeadamente o Mapa de Quantidades de Trabalho (MQT), incorporando ainda uma estimativa de custo de construção preliminar. Para tal, foi desenvolvido um fluxo de trabalho que abrangeu requisitos para a modelação da informação e a estruturação de uma base de dados (BD) para especificações técnicas, contemplando um sistema para sua gestão. De forma expedita, a solução digital proposta, a operar como um *add-in* do Revit®, extrai as informações do modelo BIM, coordenando-as com a sua correspondência na base de dados, baseada num sistema de classificação. No seu desenvolvimento recorreu-se à API da referida plataforma de modelação, associada à ferramenta de código aberto *pyRevit* para interpretar os scripts desenvolvidos em *IronPython*. Além disso, o *add-in* conta com interfaces gráficas que utilizam a estrutura *Windows Presentation Foundation* WPF e a linguagem *Extensible Application Markup Language* XMAL. O trabalho desenvolvido orientou-se de modo a dar resposta a um problema vivido na prática pelo gabinete objeto de estudo, que já utilizava processos BIM para especificações técnicas e extração de quantidades, comprovadamente mais eficientes que métodos tradicionais, contudo, ainda não completamente automatizados e integrados. O novo enquadramento permitiu realizar os processos de especificação e extração de quantidades em 1/5 do tempo que se utilizava no gabinete objeto de estudo.

1. Introdução

Tipicamente estabelecidas na fase de projeto, as especificações técnicas comunicam a qualidade esperada de um elemento através da definição dos seus materiais, métodos de instalação, fabrico ou procedimentos de execução no local. Além disso, também pormenoriza as atividades exigidas pelo projeto proposto abrangendo questões como a preparação do estaleiro, demolições, e elementos existentes a serem reutilizados e restaurados [1–3]. A extração de quantidades, por sua vez, permite medir os elementos e atividades de construção especificados [4–6]. A conjunção da informação mencionada constitui o Mapa de Quantidades de Trabalho (MQT) [7], documento que permite um entendimento partilhado sobre um determinado projeto entre clientes, projetistas, empreiteiros, e fabricantes [8,9] e que é imprescindível para o planeamento dos custos e de execução da obra.

A Modelação da Informação na Construção (BIM) fez com que os processos de especificação e extração de quantidades se tornassem automatizados, mais rápidos e precisos quando comparados com os métodos tradicionais [5,10,11]. Contudo, a sua execução e coordenação mútua, mesmo em BIM, ainda requer esforços manuais ou semiautomáticos morosos e propensos a erros [11], envolvendo muitas etapas e aplicações para estruturar a informação ao uso pretendido [5,6,11,12]. Além disso, as plataformas BIM existentes dedicadas à especificação e extração de quantidades requerem um investimento inicial elevado para pequenas e médias empresas (PMEs) [13] de projeto e muitas vezes não atendem às necessidades particulares de customização inerentes a estes modelos de negócio.

Esta investigação aborda o problema propondo um enquadramento para a produção automática do MQT. A proposta baseou-se na prática do gabinete de arquitetura Marta Campos (MC) através do levantamento e diagnóstico do processo existente no gabinete para a produção do MQT, resultando no desenho de um novo fluxo de trabalho representado pelo diagrama conceitual da Figura 1. O enquadramento proposto é composto por três frentes principais: (i) o estabelecimento de requisitos e práticas de modelação para orientar a informação para o fim pretendido (Secção 3); (ii) a estruturação de uma base de dados (BD) externa de especificações técnicas (Secção 4); (iii) uma ferramenta digital complementar ao Revit®, a operar como um *add-in* (Secção5), que produz automaticamente o MQT, coordenando as informações extraídas do modelo BIM e BD, estabelecendo também uma estimativa preliminar de custos.

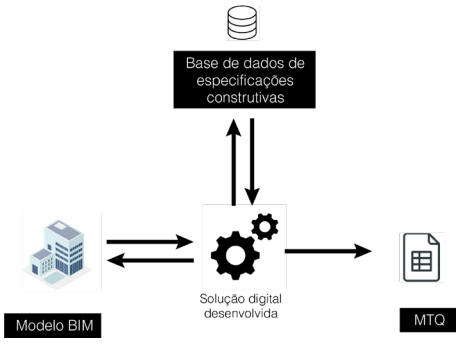


Figura 1
Diagrama conceptual do enquadramento proposto para produção automática do MQT.

2. Sistema de classificação: elemento estruturante para um MQT automatizado

A utilização de um sistema de classificação padronizado é a principal exigência de informação para o enquadramento proposto. Os códigos de classificação definem e indexam elementos e atividade de construção, possibilitando a comunicação entre humanos e máquinas/aplicações [14]. Além disso, são os responsáveis por articular as informações armazenadas no modelo BIM e na BD. Dessa forma, objetos e atividades destinados a serem especificados e quantificados devem ser atribuídos com um código de classificação.

O Uniclass 2015 da NBS [15] foi o sistema de classificação utlizado neste enquadramento, uma vez que o atelier MC já o utilizava nos seus fluxos de trabalho BIM, indexando os objetos nos modelos através do parâmetro nativo "*Keynote*" do Revit®. Além disso, a decisão considera também o contexto regional, uma vez que Portugal irá em breve divulgar o seu sistema de classificação nacional baseado no Uniclass 2015, em desenvolvimento pela Comissão Técnica de Normalização do BIM (CT197) [16] no âmbito do projeto *Sustainability Enhanced Construction Classification System* (SECClasS) [17].

Apesar da ampla abrangência dos sistemas de classificação, as especificações contidas no MQT podem exigir informação mais detalhada do que as definições expressas através dos códigos de classificação. Por vezes, é necessário diferenciar as instâncias especificadas por fabricantes, prestadores de serviços, tipo, funções, finalidade (restauração ou reutilização), ou definir características físicas como espessura, cores e densidade (aspetos normalmente não abrangidos pelos sistemas de classificação). Este tipo de informação representa um conjunto de parâmetros exclusivos a um tipo particular de objeto. Por este motivo, o gabinete MC já contava com a adição de um sufixo aos códigos de classificação, permitindo à empresa diferenciar os elementos ou atividades especificadas em maior detalhe diretamente no código de classificação. No entanto, tais sufixos não apresentavam uma estruturação sistemática e normalizada, configurando um obstáculo a processos de automatização. Esta questão foi abordada com a proposta de um sufixo estruturado e normalizado a nível da empresa conforme ilustrado na Figura 2.

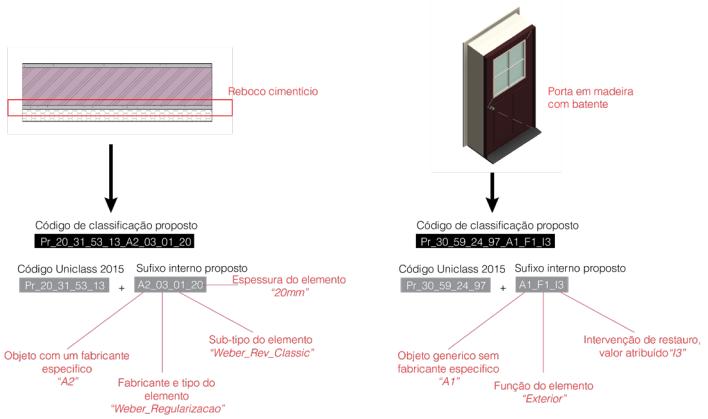


Figura 2
Estruturação de sufixo para o sistema de classificação adotado.

3. Modelação da informação direcionada à produção automática do MQT

Baseado na prática profissional do gabinete objeto de estudo, este trabalho reavaliou 116 grupos de elementos e atividades comummente especificados em projetos de arquitetura, indicando a melhor forma de representá-los digitalmente. Estes elementos e atividades foram classificados em dois segmentos: (i) Objetos graficamente representados e (ii) objetos e atividades que não são expressos graficamente no modelo BIM. No primeiro grupo, os objetos devem ser modelados considerando o nível de detalhe da informação geométrica, a classe de objetos da ferramenta de modelação mais adequada para representá-los e os atributos nativos ou customizados necessários às medições, compreendendo o conceito de *Level of Information Need* [18]. O segundo grupo, por sua vez, considerando práticas de modelação já em uso no gabinete MC, representa elementos e atividades de forma não literal através de objetos simplificados e atributos customizados, garantindo que eles sejam computados e expressos no MQT. Alguns elementos (expressos graficamente ou não) podem ser atribuídos com a unidade de medição "vg" (valor global), nos casos em que a medição e especificação técnica não são considerados suficientes para a definição do preço, requerendo a análise do modelo, peças desenhadas, ou visita em loco, por parte do prestador de serviços, para orçamentação da empreitada de forma global. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos da reavaliação feita.

Tabela 1
Exemplos extraídos da reavaliação feita relativa às abordagens de modelação para produção automática do MQT.

ARGAMASSAS E REBOCOS			
Elemento / Atividade	*Unidade de medição*	*Classe de objeto*	*Recomendação*
Cimentos e argamassas de uso geral	m^2	Paredes, Pisos, Coberturas, Tetos falsos	Atribuir um código de classificação no parâmetro de tipo "Keynote".
Reparo em argamassa e betão	vg	Elementos não expressos graficamente no modelo	Utilizar os objetos desenvolvidos "MC_ MagicCubes" ("face-based"), cujos tipos indicam a intervenção que o objeto hospedeiro irá receber. O script identifica as atividades pelos cubos presentes no modelo através do código de classificação atribuído ao parâmetro de tipo "Keynote".
Argamassa mata-juntas	m^2	Elementos não expressos graficamente no modelo	Utilizar o parâmetro customizado "MC_ MataJuntas" para guardar um material da biblioteca de materiais. O material deve ser atribuído com um código de classificação no parâmetro "Keynote".
Argamassas leves de alvenaria; Argamassas hidráulicas de cal e argamassas cimentícias	m^2	Paredes, Pisos, Coberturas, Tetos falsos	Atribuir um código de classificação no parâmetro de tipo "Keynote".

A granularidade da informação geométrica de objetos compostos por camadas tem impacto na precisão na extração de quantidades, sendo primordial que as camadas possam ser ajustadas individualmente para evitar imprecisões nas quantidades extraídas [5]. Paredes, pisos, lajes, tetos falsos e telhados são compostos por camadas que precisam ser medidas individualmente, uma vez que essas camadas podem se estabelecer com áreas distintas. Por exemplo, o acabamento em azulejos de uma parede não ocupa necessariamente a mesma área que as camadas de alvenaria e reboco. Portanto, nesse caso, basear as suas quantidades na área do objeto composto parental levaria a imprecisões.

A ferramenta de modelação Revit®, a que se direciona este enquadramento, aborda esta questão ao permitir a criação de "Partes" individuais com base num objeto inicialmente composto. Esta funcionalidade permite o ajuste geométrico e a leitura da área das camadas ("Partes") individualmente. Da mesma forma, é possível editar as camadas modificando as restrições geométricas de cada uma delas alterando a estrutura do objeto composto. No entanto, ambas as alternativas limitam a gestão e a utilização de parâmetros. Por exemplo, não é possível atribuir um código de classificação ao parâmetro de tipo "*Keynote*" para as "Partes" ou a uma camada individualmente dentro de um elemento composto, como no objeto composto original. A indexação das "Partes" ou das camadas associadas geometricamente modificadas exigiria que o material constituinte de cada uma delas fosse diretamente classificado, acrescentando complexidade ao processo de gestão da informação. Além disso, o uso das "Partes" ou a manipulação estrutural das camadas de um objeto composto poderia afetar outros usos previstos para o modelo, tais como a extração automática de desenhos e a gestão de informação posterior com o modelo em IFC (Industry Foundation Classes). Por esta razão, este enquadramento, apoiado por investigações anteriores [5,6] e alinhado com a prática corrente no MC, recomenda que camadas de elementos compostos sejam modeladas independentemente. No entanto, é importante ressaltar que este não é um fator limitativo para a implementação e a automatização alcançada com este trabalho.

3.1. Utilização de atributos customizados para representação de elementos sem expressão gráfica no modelo

Devido a sua complexidade geométrica ou escala física inexpressiva, alguns elementos que precisam constar no MQT, como pinturas, primários, resinas, e argamassas mata-juntas, não são graficamente expressos no modelo BIM, pois exigiriam um esforço proibitivo para serem modelados. No entanto, este enquadramento propõe representá-los através de atributos customizados.

Os atributos propostos estão associados aos objetos que, na prática, hospedam os elementos que se pretende representar. Um teto falso de gesso, por exemplo, pode requerer expressar três instâncias diferentes para medição e especificação: o teto em si, o primário e a pintura. Nestes casos e quando razoável, dois parâmetros customizados de materiais associados ao teto falso representam os elementos em questão. Um código de classificação indexa os materiais atribuídos aos parâmetros,

permitindo que a solução digital desenvolvida encontre a especificação correspondente na base de dados externa. Neste caso, as quantidades apresentadas são obtidas do objeto do teto falso, que hospeda os atributos customizados criados. Se primário e pintura ocuparem áreas distintas, estes devem ser modelados geometricamente, não havendo a necessidade de se atribuir nenhum valor aos referidos parâmetros. A mesma lógica aplica-se para representação de outros elementos que requereriam um grande esforço de modelação, como cumeeiras, telhas de ventilação ou fixadores de telhas. Tais elementos são representados por um ou um conjunto de parâmetros customizados que permitem sua correta incorporação ao MQT.

3.2. Utilização de objetos simplificados para representação de atividades

Atividades / intervenções não possuem uma representação geométrica tangível e literal. Por essa razão, foram desenvolvidos objetos simplificados para representar restauros, reaproveitamentos, limpezas e preparação do local de construção. Os objetos propostos (*MagicCubes*) são em sua constituição "face-based" e, portanto, só podem ser colocados na superfície de outro objeto. Os MagicCubes são indexados por um código de classificação da atividade, e sua forma de colocação no modelo identifica o objeto que irá sofrer a intervenção, conforme os exemplos contidos na Figura 3, para restauro das grades em aço (cubo verde) e limpeza do muro em pedra e betão (cubos amarelos).

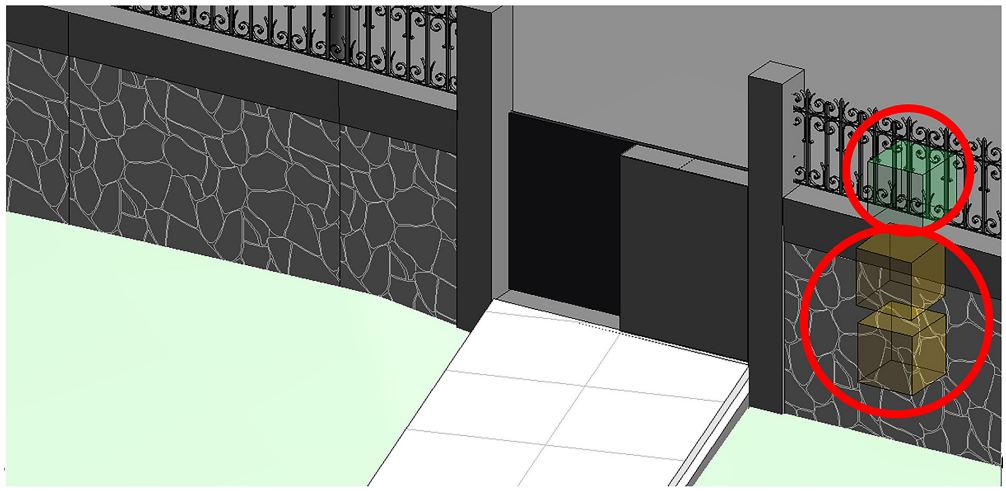


Figura 3
Exemplo de *MagicCube* a ser utilizado para representar uma atividade ou intervenção.

3.3. Informação sobre fases do projeto

O enquadramento proposto também engloba o faseamento do projeto uma vez que este tem impacto no MQT. Por exemplo, numa renovação, os elementos existentes que permanecerão na fase de projeto não são medidos a priori, no entanto, alguns desses elementos podem figurar no MQT como restaurados ou reutilizados num local diferente. Neste contexto, o enquadramento integra um parâmetro auxiliar customizado já em uso no atelier MC para indicar o restauro ou a reutilização de um

objeto no modelo. Complementarmente aos atributos nativos, "fase criada" e "fase demolida", a propriedade personalizada proposta permite a medição das intervenções mesmo que o objeto tenha sido criado numa fase que não será considerada para a especificação e extração de quantidades.

4. Estruturação de uma base de dados para especificações técnicas baseadas num sistema de classificação

Estre trabalho previu o desenvolvimento de uma base de dados relacional (BD) para armazenar informações de especificações técnicas a nível organizacional, articulando seus registos aos elementos e atividades correspondentes representados no modelo BIM através dos códigos de classificação. A escolha de uma estrutura de modelo de dados relacional externa garante que a informação vinculada, a todas as instâncias no fluxo de informação, para todos os projetos em andamento e seus respetivos modelos BIM dentro de uma organização, seja a mais atualizada. Além disso, a natureza das BD relacionais permite a incorporação de tabelas e outras BD relacionadas a outros usos BIM, tais como estimativa de custos e análises de impacto ambiental.

A base de dados foi estruturada em Microsoft Access® e conta com uma interface gráfica de utilizador (GUI), baseada em linguagem de programação VBA (Visual Basic for applications), desenvolvida para facilitar a gestão da informação armazenada, permitindo aos utilizadores verificar, consultar, adicionar, editar, e eliminar registos. A base de dados externa, combinada com a sua GUI, confere aos utilizadores sem formação específica em modelação BIM, a possibilidade de trabalhar com dados de especificação construtiva num fluxo de trabalho baseado em BIM.

5. Solução digital para produção automática do MQT

Sob o nome de TIE, um acrónimo para *Technical Information Exchange*, a solução digital desenvolvida foi direcionada à plataforma de modelação Revit®. A sua conceção assenta-se na interface de programação de aplicações (API) do referido software BIM e na biblioteca de scripts de código aberto PyRevit® [19] que permite a interpretação de códigos em IronPython (versão do Python em conformidade com o "*framework*" .NET), incorporando ainda interfaces gráficas estruturadas em *Windows Presentation Foundation* (WPF) e *Extensible Application Markup Language* (XAML). O TIE extrai informação do modelo BIM, coordenando-a com os registos correspondentes armazenados na BD. Ao fim, produz automaticamente o MQT, associando-o a uma estimativa de custo preliminar.

A ferramenta desenvolvida é composta por dois módulos. O primeiro verifica e valida o modelo. O segundo centraliza as tarefas principais do TIE, integrando eficazmente o modelo BIM e a BD, produzindo o MQT e estimativa de custos preliminares em um ficheiro .xls (Excel). As tabelas 2 e 3 ilustram o fluxo de informação e as principais rotinas de ambos os módulos. Além disso, erros encontrados no processo são

reportados e são verificáveis visualmente no modelo. Elementos cujas quantidades foram extraídas do modelo e coordenadas corretamente com as especificações técnicas na BD são escondidos temporariamente na vista ativa da plataforma de modelação, permanecendo visíveis somente os elementos que necessitam de algum tipo de ajuste, seja ele por não estarem devidamente indexados por um código de classificação, por não terem correspondência na BD, porque os parâmetros a serem medidos não estão assinalados no registo na BD ou porque não foram encontrados no objeto em processamento.

Tabela 2
Fluxo da informação e principais rotinas módulo de checagem e validação.

(i)	**Objetos não atribuídos com um código de classificação**	Esta rotina identifica os objetos não indexados por código de classificação. Neste caso, o script não consegue articular o objeto com a sua instância correspondente na BD.
(ii)	**Objetos sem registo correspondente na BD**	Esta rotina identifica os objetos que, embora classificados, não têm uma correspondência na BD. Neste caso, o script não pode obter as informações de especificação construtivas necessárias.
(iii)	**Atributo atribuído para medição do objeto BIM não especificado na BD**	Esta rotina identifica os objetos sem parâmetro de medição atribuído na BD ou que o parâmetro atribuído não existe no objeto em questão.

Tabela 3
Fluxo da informação e princip ais rotinas do módulo principal de produção do MQT.

(i)	**Obtenção dos códigos de classificação dos objetos**	Esta rotina retém o código de classificação dos objetos. Para além do objeto em si, também obtém os códigos de classificação dos objetos e atividades relacionadas não expressas graficamente através dos atributos personalizados ou *MagicCubes*. Se, por acaso, o script identificar objetos não classificados, armazena-os numa lista de problemas encontrados que será impressa no final do relatório final.
(ii)	**Encontrar a correspondência na BD**	Com base no(s) código(s) de classificação obtidos no passo anterior, esta rotina consulta a BD e busca e retém a informação de especificação correspondente ao objeto.
(iii)	**Extração das quantidades**	A informação extraída da BD informa ao script o parâmetro físico e unidade que deve medir uma instância de objeto específica. Com base nesta informação, esta rotina obtém a quantidade para a instância analisada. Além disso, o script soma todas as quantidades para cada uma das instâncias de objetos indexadas com o mesmo código de classificação. (Vários objetos com o mesmo código de classificação representarão apenas um elemento/atividade no MQT).
(iv)	**Coordenação das informações extraídas do modelo e BD**	Esta rotina coordena a informação extraída do modelo BIM com àquela extraída da BD, tratando e formalizando-as para serem apresentadas no MQT. Esta rotina também calcula o custo dos elementos e atividades processados, com base nas quantidades extraídas e no custo por unidade atribuído na base de dados.

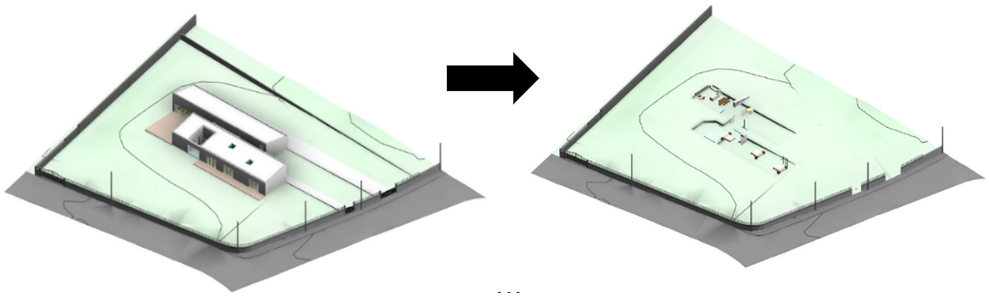


Figura 4
Resultado da verificação visual de não-conformidades após execução dos scripts dos módulos 1 e 2.

6. Validação

O fluxo de trabalho e a solução digital propostos, visando a produção automática do MQT associado a uma estimativa de custos preliminar a partir de modelos BIM, foram testados em dois projetos reais em desenvolvimento no gabinete Marta Campos. O Projeto 1 consistiu em uma construção nova de uma casa unifamiliar de um pavimento em Vila do Conde, Portugal, ainda em fase de Anteprojeto. Sendo uma construção nova, o projeto não exigiria a estrutura proposta para lidar com complexidades como demolições, restauro e reutilização de objetos. Esta condição permitiu que os testes se concentrassem nos direcionamentos e funcionalidades centrais propostas, assegurando uma coordenação precisa e eficaz entre o modelo BIM, a DB e a solução digital. O segundo projeto, Projeto 2, compreendeu uma renovação de uma casa unifamiliar de quatro andares em Calvelhe, Portugal, no início do projeto de execução. Neste caso, os procedimentos de ensaio abordariam questões para além das diretrizes e funcionalidades centrais do enquadramento já consolidadas com o Projeto 1. O Projeto 2, como uma renovação, exigiria a especificação e quantificação de demolições, restauros e reutilizações de objetos.

Os testes refinaram as diretrizes de modelação, a estrutura e o conteúdo da BD, e a solução digital, produzindo o resultado esperado. A Tabela 4 apresenta uma visão geral da especificação final, QTO ("quantity take-off"), e relatório preliminar de estimativa de custos, apresentando o número de objetos analisados e os elementos/atividade resultantes especificados e quantificados para ambos os projetos.

Tabela 4
Visão geral do processamento dos Projetos 1 e 2.

	Projeto 1	Projeto 2
Número de instâncias de objetos processadas	917	2633
Número de tipos de objetos processados	142	262
Número de categorias processadas	14	15
Número de itens (elementos e atividades) expressos no MQT	115	101
Tempo de processamento	1:00min	3:30min

7. Conclusão

O trabalho apresentou um enquadramento orientado aos gabinetes de arquitetura que reduz o número de plataformas e etapas intermédias manuais ou semiautomáticas de métodos BIM correntes para a extração do MQT, possibilitando sua estruturação de forma automática. Além disso, estabeleceu um sistema que permite ampliar a granularidade da informação expressa nos códigos de classificação através do uso de sufixos padronizados. Por fim, estabeleceu requisitos de modelação para um conjunto representativo de elementos e atividades relacionados aos projetos de arquitetura que direcionam à informação contida no modelo às medições e especificações pretendidas.

O enquadramento proposto requereu consideravelmente menos tempo e recursos do que o processo previamente estabelecido no gabinete MC (também baseado em BIM) para a produção do MQT, associado a uma estimativa de custo preliminar. Com base nos registos do atelier de projetos semelhantes em escala, programa e complexidade, a estrutura proposta diminuiu em 1/5 o tempo necessário para produzir o MQT em comparação com o fluxo de trabalho prévio. Os ganhos são ainda mais atraentes quando comparados a métodos tradicionais, gastando 1/10 do tempo. A nova forma de trabalho requer um esforço inicial para construir e fornecer conteúdo à BD, uma vez que a recolha de especificações funcionais e informação sobre custos de diferentes fontes requer algum tempo. Contudo, uma vez estabelecida a BD, as suas atividades de gestão restringem-se à adição de novos elementos e atividades e à atualização dos registos existentes.

Desenvolvimentos futuros poderiam permitir o processamento de modelos IFC. A solução digital desenvolvida para produção do MQT e estimativa preliminar de custos é restrita ao Revit®. Lidar com modelos em formato .ifc, que promove a interoperabilidade entre diferentes plataformas BIM, iria enriquecer significativamente a estrutura proposta, expandindo a sua abordagem para o OpenBIM [20]. Além disso, a BD constituída poderia integrar outras tabelas ou até mesmo outras bases de dados, permitindo a coordenação estabelecida pelo TIE entre o modelo BIM e a BD auxiliar na automatização de outros processos, como a vinculação com tabela de preços externas, permitindo maior detalhe no âmbito da elaboração de orçamentos, ou a vinculação de parâmetros ambientais quer poderiam derivar em cálculos de impacto ambiental automatizados.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020. Adicionalmente, as atividades foram desenvolvidas dentro do programa European Master in Building Information Modelling (BIM A+).

Referências

[1] F. Boukamp, Modeling of and reasoning about construction specifications to support automated defect detection, Carnegie Mellon University, 2006. https://www.proquest.com/dissertations-theses/modeling-reasoning-about--construction/docview/305353632/se-2?accountid=39260.

[2] NBS, NBS BIM Object Standard, Newcastle, UK, 2019. https://www.nationalbimlibrary.com/resources/bimobjectstandard/NBS-BIM-Object-Standard-v2_1.pdf.

[3] M. Kalin, R. S. Weygant, H. J. Rosen, J. R. Regener, Construction Specifications Writing: Principles and Procedures, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ, 2011.

[4] A. Monteiro, J. Poças Martins, A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design, Autom. Constr. 35 (2013) 238-253. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005.

[5] C. Khosakitchalert, N. Yabuki, T. Fukuda, Automated modification of compound elements for accurate BIM-based quantity takeoff, Autom. Constr. 113 (2020) 103142. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103142.

[6] C. Khosakitchalert, N. Yabuki, T. Fukuda, Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements, Autom. Constr. 106 (2019) 102891. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102891.

[7] Ministérios, Portaria n.º 701-H/2008, Diário da República n.º 145. (2008) 44. https://dre.pt/pesquisa/-/search/575341/details/maximized.

[8] NBS, Specification Report 2017 NBS, Newcastle, UK, 2017. https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-specification-report-2017.

[9] L. Kirby, BIM objects as the foundation of specification writing for organizational project-based design and construction, Alpharetta, GA, 2019. https://bsdspeclink.com/wp-content/uploads/2019/01/BIM-white-paper.pdf.

[10] R. Bečvarovská, P. Matějka, Comparative Analysis of Creating Traditional Quantity Takeoff Method and Using a BIM Tool, in: Constr. Maeconomics Conf. 2014, Prague, Czech Republic, 2014: pp. 1-4. http://www.conference-cm.com/podklady/history5/Prispevky/paper_becvarovska.pdf.

[11] D. Olsen, J.M. Taylor, Quantity Take-Off Using Building Information Modeling (BIM), and Its Limiting Factors, Procedia Eng. 196 (2017) 1098-1105. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.067.

[12] K. Zima, ScienceDirect ScienceDirect Impact of information included in the BIM on preparation of Bill of Quantities, Procedia Eng. 208 (2017), 203-210. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.039.

[13] C. Vidalakis, F.H. Abanda, A.H. Oti, BIM adoption and implementation: focusing on SMEs, Constr. Innov. 20 (2020), 128-147. https://doi.org/10.1108/CI-09--2018-0076.

[14] D. Aksomitas, (BIMAXON), BIM and Classification, (2020). http://www.bimaxon.com/what-is-bim/bim-classification/(accessed June 19, 2020).

[15] NBS, National BIM Report 2019, Natl. BIM Rep. 2019 Defin. Ind. Updat. (2019) 46-50. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004.

[16] A.A. Costa, M. Azenha, J.P. Martins, R. Pinho, L. Riberirinho, M. Campos, I. Rodrigues, R.C. Reis, BIM nas Autarquias, Inst. Super. Técnico. (2020) 24.

[17] SECClasS, Sustainability Enhanced Construction Classification System, (n.d.). https://secclass.pt/ (accessed October 12, 2021).

[18] British Standards Institution, BS EN ISO 19650-5:2020 Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works , including Building Information Modelling (BIM) – Information Management using Building Information Modelling, (2020) 1-46.

[19] E. Iran-Nejad, (PyRevit), pyRevit, (2020). https://www.notion.so/pyRevit-bd907d6292ed4ce997c46e84b6ef67a0 (accessed August 19, 2020).

[20] R. Petrie, (BuildingSMART), What is openBIM?, (2021). https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/ (accessed September 2, 2021).

BIM em projeto para manufatura e montagem na indústria AECO 4.0: metodologia para a otimização e automação da produção de paredes divisórias

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.18

Tiago Santos[1], **Bruno Figueiredo**[2], **Miguel Pires**[3], **Pedro Carneiro**[4]

[1] *Universidade do Minho, Guimarães*

[2] *Escola de Arquitetura, Arte e Design da Universidade do Minho, Lab2PT, Guimarães, 0000-0001-8439-7065*

[3] *Grupo Casais, Braga*

[4] *Grupo Casais, Braga*

Resumo

A integração de conceitos de Projeto para Manufatura e Montagem (Design for Manufacturing and Assembly - DfMA) na indústria AEC potencia-se pelo recurso a ferramentas BIM. DfMA considera os meios de produção e montagem no momento de desenvolvimento de um produto, ou projeto, na sua otimização.

Este artigo foca-se numa investigação que desenvolve metodologias de DfMA em para processos de pré-fabricação, a serem aplicados em projetos em curso e de projetos futuros. Propõe-se o recurso a Modelos de Informação da Construção (BIM) e a modelos computacionais para a definição de um sistema de montagem e fabricação de paredes divisórias, otimizando os recursos de produção existentes pela maximização do número de elementos pré-fabricados idênticos, e ainda, pela integração de um sistema de gestão de dados que articula o momento de fabrico e montagem em obra.

O processo de DfMA proposto neste trabalho recorre a programação visual em Dynamo, uma API do Revit, para implementar uma metodologia de divisão e disposição espacial das paredes, que se articula automaticamente com uma base de dados. Neste contexto, apresenta-se a aplicação de um sistema de otimização de fabricação e montagem para paredes divisórias de um determinado compartimento, neste caso casas-de-banho devido às repetições e elementos pré-fabricados.

Introdução

Segundo o Pordata o setor da construção na Europa sofreu uma perda de 20% da mão-de-obra desde a crise financeira de 2008, enquanto a população ativa cresceu. Portugal perdeu cerca de 40% das pessoas ativas na construção. A Tabela 1 representa as perdas no setor da construção em Portugal e a União Europeia a entre 2008 e 2020. Este fenómeno acentuou-se com a crise pandémica, cujas limitações e afastamento social resultaram numa maior dificuldade na operabilidade no setor. A produtividade da construção está diretamente relacionada com o quão eficiente, rápido e economicamente um edifício pode ser construído.

Sectors	**Total**		**Construção**	
Ano	2008	2020	2008	2020
União Europeia 27	193 164 600	197 153 600	15 967000 (8%)	12 840 000 (6%)
Portugal	5 116 600 (2,6%)	4 814 100 (2.4%)	539 600 (10%)	297 100 (6%)

Tabela 1
Total emprego comparado com o setor da construção (fonte: NACE Rev.2).

A pré-fabricação poderá ser uma solução para o problema apresentado, envolvendo a produção em fábrica de componentes construtivos, eventualmente de média dimensão — elementos estruturais, para posterior transporte e montagem em estaleiro de obra. O desenvolvimento tecnológico atual, a redução de custos de projeto, calendarizações mais curtas, a melhor qualidade construtiva e uso mais eficiente de mão de obra e material, são alguns dos fatores de maior relevância para a adoção deste processo. Contudo, a implementação está limitada às especificações construtivas, e na apropriação deste processo por parte dos arquitetos e engenheiros, cuja falta de informação e especialização retarda a aplicação.

A pré-fabricação é uma opção que deve ser tomada de raiz, pois afeta todas as fases da construção, dificultando possíveis alterações em fases mais avançadas do projeto. As ferramentas BIM introduzem instrumentos capazes de melhorar as decisões do projeto, correlacionar as partes do projeto, extrair custos e quantidades dos elementos, assim como, automatizar processos de pré-fabricação. Para além disso, o envolvimento dos vários *stakeholders* de um projeto, desde a sua fase inicial permitirá reduzir erros e proporcionar a informação necessária para proceder a melhores decisões projetuais.

BIM quando aplicado às atividades de fabricação e partilha de informações, melhora a transição para a pré-fabricação. Durante a gestão da pré-fabricação, considera-se novas etapas no processo que tem impacto significativo, precisando de ser abordadas: fabricação, armazenamento e transporte. Esses processos, além dos existentes (projeto, construção, operação), exigem comunicação, tecnologias e ferramentas eficazes para melhorar a cooperação, controlando e gerindo todo o processo cronometricamente.

Como refere Kuzmanovska et al. [1] os processos de DfMA consideram uma combinação entre um conjunto de diretrizes de projeto e uma metodologia de avaliação e otimização do projeto relativamente ao modo como este é produzido.

Implementação de DfMA utiliza processos de pré-fabricação na arquitetura, desenvolvendo uma metodologia projetual onde as partes do edifício serão subdivididas em peças e produzidas de forma eficiente e racionalizada. A operacionalização do projeto para a exploração, otimização de materiais, calendarização de entregas ou gestão no local, permite maximizar a produtividade. A transição para DfMA consiste num processo de otimização iterativa com base em detalhes predefinidos, aplicado após as suas características formais, tais como, o projeto ou as partes estruturantes, estarem consolidadas para serem aplicadas na obra.

O desenvolvimento de componentes pré-fabricadas para DfMA é um processo que transforma a informação em projeto. As funcionalidades que as ferramentas BIM introduzem podem maximizar a produção de peças pré-fabricadas com a análise das componentes fabricáveis. Desta forma, a primeira etapa passa por definir um conjunto de componentes e compreender a relação com BIM, quer pela relação com a biblioteca BIM, quer pela informação contida dentro da família. Após realizada esta análise é possível transformar esta informação desenho ou modelo contendo as diretrizes relativas para a montagem destas peças.

Caso de estudo

O tema principal deste artigo visa um processo de implementação de DfMA em paredes divisórias. O objetivo parte da automatização do processo de produção de informações e desenvolvimento de metodologias, para aplicar como um método orientado a projetos que não precisam de ser desenvolvidos em torno da pré-fabricação.

O processo de trabalho para a produção de paredes divisórias parte do corte das pelas e montagem, para posteriormente serem montadas, o transporte e entrega no estaleiro de obras. Desta forma, a investigação, focou-se em compartimentos mais repetidos e com um grande número de peças semelhantes ou iguais, que permitem a padronização desejada em DfMA, é exemplo disto, as paredes divisórias das instalações sanitárias. Para desenvolver um novo método de trabalho, foi utilizado um caso de estudo de um projeto habitação coletiva com cinco andares, que contém aproximadamente 500 instalações sanitárias. As instalações sanitárias são compartimentos complexos no edifício, por causa das infraestruturas sanitárias e mobiliário sanitário, o que torna DfMA uma melhoria para produtividade em termos de colaboração neste espaço. No entanto, o desenho de casas de banho lida não só com a disposição dos móveis de casa de banho, mas também com os dados infraestruturais, como o sistema de canalização que passa entre as paredes e o facto de existirem variações múltiplas da casa de banho em função das dimensões. Tornando-se, portanto, uma prioridade na automatização usando BIM.

O grande número de instalações sanitárias, fez com que o interesse em adotar pré--fabricação fosse prioritário para maximização da produtividade e redução de custos. Contudo, o projeto original possuía diferentes variações de tipologias de instalações sanitárias e várias que eram únicas, desta forma, foi necessário desenvolver um processo de seriação utilizando BIM e a linguagem de programação visual Dynamo, disponível numa interface de programação de aplicações do Revit, para reduzir o número de tipologias IS e detetar quais a tipologias que mais se repetem.

O número de paredes divisórias existentes nas instalações sanitárias está diretamente relacionado com o número de elementos individuais dentro dela. Elementos como sanita, bidé e lavatório são componentes que serão replicados várias vezes, no entanto, uma vez que estão dependentes da organização espacial, formam grupos de paredes diferentes, mediante a disposição do espaço. Posto isto, caso os elementos se encontrem na mesma parede serão agrupados e pré-fabricados como uma parede, precisam ser montados em um grupo de paredes para fazer parte da parede tipo banheiro. Para cumprir essa função, a parede precisa ser dividida em três partes.

1. Perfis – Perfil metálico cria a estrutura da parede.
2. Painel estrutural – Fixa aos perfis e cria o suporte para toda a canalização de cada elemento e para todo o sistema no interior da instalação sanitária
3. Painel de acabamento – Fixado geralmente no sentido oposto ao do painel estrutural, contém todo o material de acabamento.

O processo de fabricação desenvolvido define componentes pré-fabricados para cada elemento existente na instalação sanitária. A única diferença está no elemento lavatório, já que ele pode ter especificações diferentes do fabricante, o que pode levar a diferentes variações de encastre. O elemento porta é um componente com dimensões especificadas que une e faz o remate entre espaços. No entanto, quando a parede contém uma porta de correr, este precisa de correr entre as paredes divisórias e principalmente, não colidir com nenhuma componente estrutural ou redes de saneamento.

O sistema de parede divisória para banheira e chuveiro faz parte de um único grupo, com acabamentos diferentes de modo a prevenir infiltrações nas juntas. A banheira e o lavatório são um conjunto composto por um sistema de parede ligado por um canto comum que liga todos os lados onde se cruzam. A solução passa por uma parede dobrável, que pega esses elementos e conecta nos cantos e depois reúne todas as laterais do banho como um conjunto único para ser mais fácil de transportar até o local.

Para detetar cada tipologia, definiu-se um modelo computacional de deteção de elementos para que as paredes que constam no modelo possam ser distinguidas mediante diversos tipos de características. A partir de um processo que desenvolve um conjunto de ferramentas e parâmetros rastreáveis, o código ou o modelo computacional permite detetar as diferentes variações de instalações sanitárias que existem dentro do modelo. Todos os elementos que são criados para o DfMA devem definir um código de modo a se poder organizar a informação e aceder a ela.

Figura 1
Exemplo parede pré-fabricada.

Otimização do modelo BIM para DfMA

O objetivo principal foi definir uma estratégia de otimização de projeto que automatizasse o processo de seriação de instalações sanitárias. Com o recurso a um modelo BIM, o processo foi realizado utilizando o caso de estudo onde se procurou encontrar uma estratégia e metodologia para testar a automatização e estandardização. Para maximizar a produção, o processo foi dividido em três etapas: Interoperabilidade IFC, Desenvolvimento de Tipologias e Criação de Sub-tipologias.

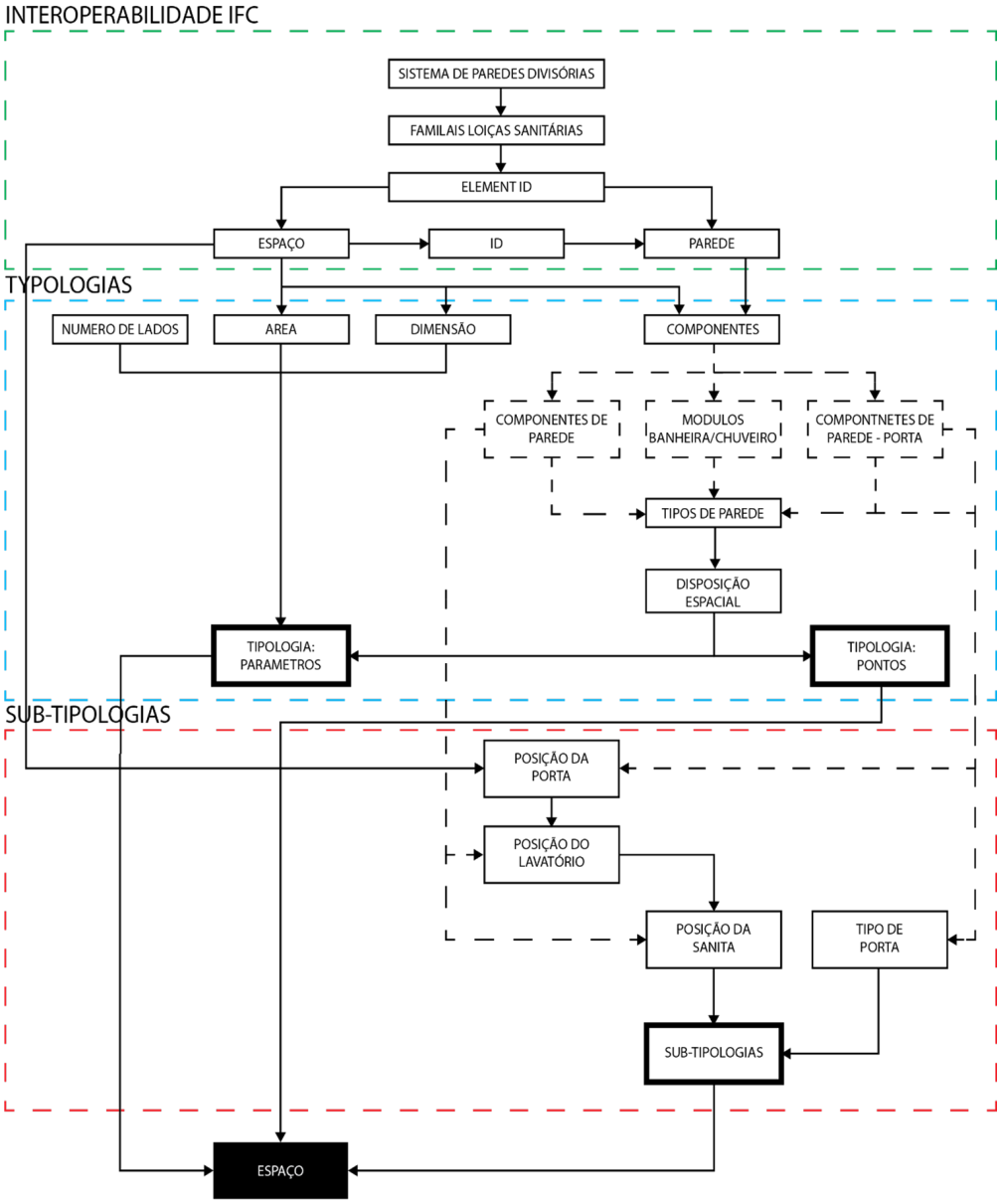


Figura 2
Metodologia desenvolvida para aplicar DfMA em paredes divisórias das instalações sanitárias.

Interoperabilidade IFC

A primeira função no modelo parte de transformar os dados existentes, preparando-os para o processo de DfMA pretendido. Para tal, será criado um novo modelo BIM, que funcionará de forma autónoma a partir do Modelo de Referência. Uma vez que, este novo arquivo funcionará apenas para DfMA, as alterações e informações que precisam ser adicionadas devem ser aplicadas apenas ao novo arquivo. É importante reduzir a informação do modelo ao essencial destes espaços, pois muitas operações precisam ser realizadas para se chegar ao resultado.

Para preparar as informações e todos os detalhes para trabalhar a informação que consta no modelo, foi gerada o grupo de família com LOD 200 de todas as peças sanitárias. A forma simplificada destas famílias facilita o controlo da posição das

louças sanitárias com as paredes, normalmente em ângulos retos, criando ângulos retos, que serão posteriormente analisados e ajudarão a tomar decisões adicionais no modelo. Os blocos referentes à banheira e ao chuveiro são tipos de famílias independentes que, ao contrário de todos os outros componentes, não são famílias situadas na parede.

A primeira etapa consistiu no desenvolvimento de um processo para geração automática das paredes interiores a partir do perímetro interno do espaço. Ao exportar o IFC como um arquivo conectado, o volume do espaço, que é uma representação do seu interior, define um limite independentemente das paredes circundantes, portas ou quaisquer outros elementos do edifício. As duas famílias de elementos da banheira e do chuveiro possuem diferentes peças e sistema de montagem em comparação com os outros, atribuindo a tarefa extra de cortar a linha da parede para que estes elas possam trabalhar autonomamente. Após produzir as paredes divisórias, os componentes BIM que são conectado às paredes interiores, necessitam de ser novamente alojados numa nova parede, uma vez que estes deixam de existir quando a base deixa de existir.

A próxima etapa é uma das mais úteis no controle e rastreamento de todo o processo para DfMA, principalmente em manter a localização dos elementos não só no procedimento, mas no local. Um modelo BIM pode incorporar códigos de identificação de objetos (ID). Em ambiente de trabalho Revit esse código é denominado de "element ID", uma vez associado a um objeto permite a deteção e exportação dos seus dados como parâmetro, tornando um dado útil durante o DfMA e nos processos de montagem e transporte.

A fase seguinte passa por relacionar o "element ID" das paredes e dos espaços, para que contenham em cada um deles, o código referente ao outro como um dos parâmetros. Esta etapa é essencial, pois os dois elementos não estão conectados entre si. A importância deste método centra-se na localização das paredes em cada espaço, permitindo aumentar a informação de cada componente ao utilizá-la para controlar e tomar decisões. Esta etapa é importante para gerar a codificação para fabricação e montagem. Os códigos que desenvolvidos nesta fase são relevantes para a compilação de dados sobre os quais os parâmetros podem ser usados para relacionar as várias características formais, tornando-os úteis para o processo geral de troca de informações. Este conjunto de etapas são dependentes umas das outras. Assim, começa a surgir uma otimização do processo porque se desenvolve dentro do mesmo ambiente de programação.

Tipologias

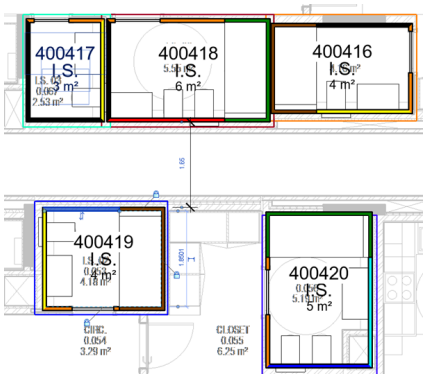
Automatizar o mapeamento das tipologias é a parte principal desta investigação, pois auxiliará à definição dos tipos de instalações sanitárias para DfMA. Este processo tem múltiplas formas de ser alcançado, não só porque existe um certo número de parâmetros que precisam ser desenvolvidos, como também é necessário encontrar uma combinação para alcançar o resultado. O maior problema era como entender e

detetar a disposição das instalações sanitárias e como esta afeta a tipologia. Desta forma, após reduzir a pesquisa às instalações sanitárias é necessário serializar por várias tipologias em grupos que se assemelham, de modo a mapear elementos repetidos para subsequente processo de estandardização e fabrico.

O primeiro passo é identificar a posição dos elementos nas instalações sanitárias e desenvolver um identificador único para cada tipo. No entanto, a posição às vezes pode ser hipotética, onde as mais pequenas variações podem resultar em divergências. Em DfMA, quanto mais agrupada estiver a informação melhor, e nesta situação, o código precisa ir além do parâmetro e precisa definir um tipo diferente de parede, definido pela posição física dos elementos em relação na casa de banho.

Um ponto importante é o modo deteção dos espaços que são instalações sanitárias: devem conter sanita e lavatório. Aos quais poderão acrescentar os componentes do bidé e banheira/chuveiro, assessores que a completam. Existe uma relação entre os elementos e o tipo de casa de banho, uma vez que em espaços menores deverá existir um menor número de elementos do que em espaços maiores.

A ideia deste processo é compreender a disposição espacial dos elementos e considerar a relação entre eles, uma vez que em DfMA os elementos que existem no interior da sala podem ser iguais, mas produzidos de forma diferente, como também podem conter paredes iguais e não pertencer à mesma tipologia. Após entender os requisitos mínimos, o processo passa pela transformação das paredes que contém os elementos em diferentes tipos, de acordo com o seu conteúdo. Assim, será possível entender a relação dos vários elementos e a sua disposição. Como tal o processo funciona pela deteção dos elementos em relação à parede que está alojado e os elementos que a intercetam no caso da cabine de duche/banheira.



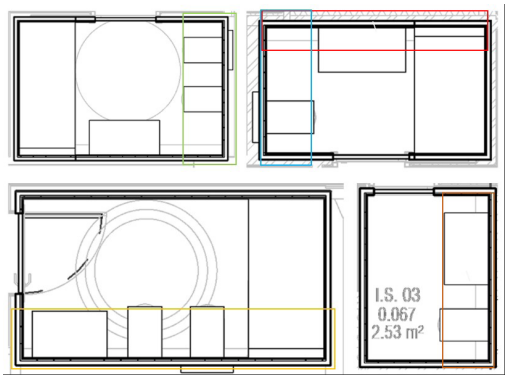


Figura 3
(esquerda): Variações dos tipos de paredes no modelo.

Figura 4
(direita): Disposições possíveis das componentes sanitárias detetadas no modelo.

A figura 3 ilustra a transformação do modelo em vários tipos de paredes e a figura 4 a relação dos objetos detetada no modelo assim, a partir deste grupo de paredes é possível distribuir os vários tipos não só pela relação que têm com os elementos, mas também pelo seu contexto no espaço. Assim, o princípio para conectar este processo no seu contexto geral parte por detetar o número combinações das paredes que existem dentro de um compartimento e combinar com outros parâmetros para

definir as tipologias. Para tal, esta disposição será definida em parâmetro para combinar com outros para atingir este resultado.

Adquirindo e atribuído o número de disposições diferentes nas respetivas instalações sanitárias. a próxima fase passa por compreender qual a relação do espaço com a disposição interior. Para tal, é essencial compreender a relação direta que os elementos contêm e como compreender de que forma a espacialidade afeta a disposição. A forma de resolver essa relação parte pela sobreposição dos elementos em relação ao mesmo eixo, onde a distância maior será representada num único eixo e a menor noutro. A sobreposição realizada vai criar um conjunto de interceção e vai procurar aglomerar os vários pontos em grupos por proximidade, estes vão estabelecer relações de distância entre eles.

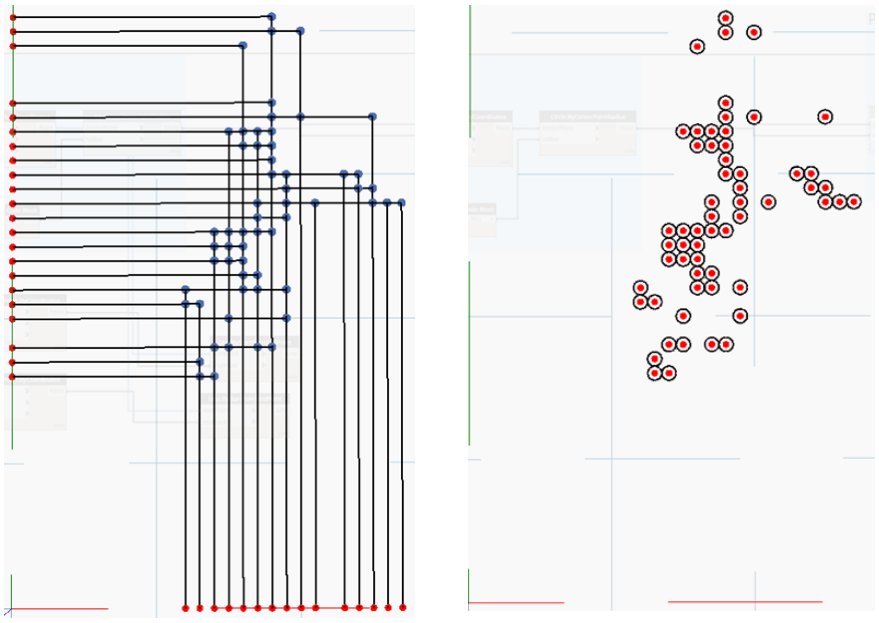


Figura 5
Compilação das várias instalações sanitárias (esquerda) e aglomeração por interceção de pontos (direita).

A figura 5 representa os vários compartimentos alinhados no eixo e depois as interceções pela proximidade dos elementos, este resultado aglomerou todas as instalações sanitárias e compilou-as em um número menor de elementos. Posto isto, usando o parâmetro da disposição desenvolvido anteriormente, é possível desempatar as diferenças e compreender as variações que existem entre cada compartimento.

Uma vez que o número de tipologias é uma abordagem genérica para as várias instalações sanitárias que existem no edifício, a próxima etapa é levar este passo em DfMA mais longe, detetando quais são as diferenças na disposição do compartimento, que os torna únicos em comparação com outros grupos. Um dos pontos mais importantes a reter em DfMA é que mesmo que o espaço tenha a semelhante tipologia a parede pode ser diferente, este princípio está assente na ideia de montagem dos elementos, assim, é necessário compreender não só as a relação das paredes com o espaço, mas dos elementos com a parede. Tendo em consideração todas as tipologias que foram criadas durante este processo, é necessário detetar outras relações entre

os elementos através de um código que possa ligar os elementos e depois dividi-los em múltiplos subgrupos.

Sub-tipologias

A relação entre as componentes e a parede é algo que se correlaciona com as peça da montagem, dado que o processo de montagem tem consequência direta na seriação das tipologias. Consequentemente, o próximo processo agrupará estes elementos por deteção dos mesmos, em relação ao seu eixo, recolhendo informações que formalizarão um grupo de sub-tipologias.

A criação de sub-tipologias das instalações sanitárias inicia-se pela verificação da disposição espacial do compartimento, considerando a direção dos eixos x e y. Para tal, o eixo de correlação entre porta e o lavatório ditará, não só a direção da sala, mas a localização do lavatório em relação à porta, normalmente localizado em frente à porta de entrada. A relação com os elementos será criada através dos tipos de paredes que contêm portas e lavatórios, permitindo desenvolver uma relação entre os elementos e a localização com os restantes.

A última parte do processo combina as coordenadas cartesianas com o uso dos eixos x e y, devido ao software não conseguir detetar o ângulo da relação dos dois elementos selecionados. Posteriormente, não deteta o ângulo de rotação dos elementos, para detetar a posição relativa dos elementos, comprovando que o uso do ângulo não transmite a informação adequada, pois o resultado mostra os ângulos em 0, 90 e 180 graus.

Dado que os ângulos não fornecem informações suficientes, o processo criado funciona extraindo dois vetores, o vetor em x e o vetor em y, estes dois vetores fornecerão uma lista com valores iguais a -1, 0 e 1. Levando em consideração as coordenadas cartesianas a coordenada (0,0) representa o ponto central, então o ponto (-1,0) e (1,0) representam o eixo x, se x for positivo o elemento do quarto está voltado para a direita, x positivo move-se para a direita e se for negativo, move-se para a esquerda. Assumir esta representação e converter em pontos carteseanos quando o elemento está voltado para o lado certo está voltado para Este, e quando voltado para a esquerda está voltado para Oeste, ao fazer este processo na porta do compartimento, dita a posição espacial deste em relação à entrada. Este processo pode ser aplicado ao Norte quando y (0,1) for positivo e ao Sul quando y (0, -1) for negativo como a figura 4 demonstra.

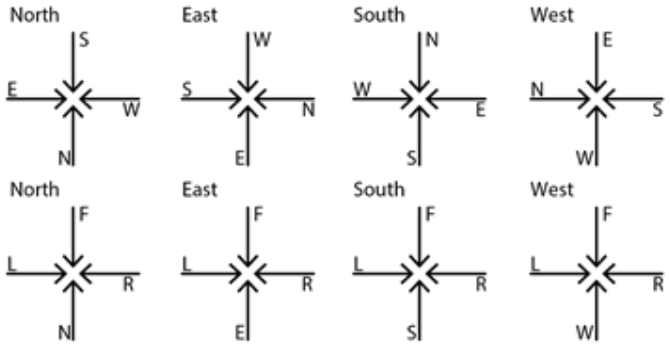


Figura 6
Relação dos elementos entre o eixo de coordenadas e a posição física.

A próxima etapa passa por detetar a forma como os elementos estão distribuídos em relação ao lavatório, isto significa que vai detetar qual a direção que os elementos serão montados em relação com a parede. Assim, foi necessário definir a relação entre os elementos do lavatório e da sanita, detetando em que posição se encontra não só em relação com o lavatório, mas na composição geral dos compartimentos, aplicando o mesmo processo do anterior. Após deteção das posições dos elementos é possível criar um parâmetro que irá conter as sub variações das paredes.

Depois de obtida a informação em relação às tipologias, as sub-tipologias não abarcam a resposta formal para toda as variações, embora a combinação dos dois reforça esta seleção. O uso das informações desenvolvidas atendendo aos parâmetros contribui para a deliberação de decisões em relação a todos os objetos que estão a ser indicados para DfMA, assim a chave para a otimização passa por transformar a informação para que auxilie e contribua na decisão de quais elementos devem ou não ser pré-fabricados

Conclusão

Todas as informações fornecidas e analisadas no decorrer desta investigação foram desenvolvidas e geradas pelo recurso dos parâmetros criados no modelo BIM. A vantagem das combinações dos parâmetros estará limitada a nuances no que são as variações, embora o pretendido passa não por replicar o mesmo protótipo várias vezes consecutivamente, mas de automatizar e estandardizar o maior número de elementos possíveis dos compartimentos, abrangendo também as paredes. Em suma, DfMA tem muito potencial quando implementado através de métodos de BIM. Durante o estudo todas as informações analisadas e desenvolvidas foram importantes para ter um amplo conhecimento de como cruzar e colaborar para alcançar um processo de projeto e construção mais eficiente, econômico e sustentável. Como a indústria de AECO está sempre em evolução, os resultados deste trabalho são um pequeno passo na implementação do DfMA em BIM e também uma contribuição para desenvolver um processo metodológico para estruturar a gestão da informação e a mudança para a construção pré-fabricada.

Agradecimento

O primeiro autor agradece a bolsa de mestrado proporcionada pelo Mestrado Europeu em BIM A+ 2020/2021 finaciado pela União Europeia. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Laboratório de Paisagens, Património e Território (Lab2PT), sob a referência UIDB/04509/2020. Esta investigação foi proposta e realizada em colaboração com o Grupo Casais que proporcionou recursos e abertura no seu decorrer.

Referências

[1] Kuzmanovska, I. and Aitchison, M., "DfMA in Building Design and Construction: Uses and Abuses" (2019).

[2] Santos Tiago, "BIM in Design for Manufacturing and Assembly: Bridging the gap in AECO Industry 4.0". Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2021.

[3] Smith, R. E. and Rice, T., "Permanent modular construction: Construction performance" (2017). Offsite Architecture: Constructing the Future.

[4] Yin, X. et al. "Building information modelling for off-site construction: Review and future directions" (2019). Automation in Construction, 101, pp. 72-91.

Obra: otimização – preparação – pré-fabricação

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.19

Pedro Ferreirinha[1]

[1] *HCI – Construções, S.A., Lisboa*

Resumo

Este resumo refere-se ao desenvolvimento da obra do EXEO Office Campus, um complexo de escritórios em Lisboa. O projecto é composto por 3 edifícios, Aura, Lumnia e Echo, ainda em execução pela HCI – Construções, S.A., num total de aproximadamente 70 000m² de construção.

Esta descrição refere-se ao edifício Lumnia (lote 2), com aproximadamente 46000m² de ABC repartidos por 9 pisos. A obra teve a particularidade de o projeto de estruturas ter contemplado um projeto alternativo a cargo da HCI para otimizar as quantidades de ferro e de betão, os respetivos custos e tempo de execução.

Salientamos os seguintes desenvolvimentos BIM:

- Modelação e otimização das armaduras;
- Nova compatibilização de todas as especialidades;
- Preparação da obra.

Destacamos as seguintes vantagens na utilização do BIM:

- A diminuição do desperdício de aço, num processo que envolveu a equipa BIM central, a equipa de direção e obra e a empresa responsável pelo corte e moldagem do ferro em obra;
- A compatibilização de todas as especialidades, tanto pela mitigação de incompatibilidades como pela comunicação entre a equipa central, a equipa da obra e os subempreiteiros responsáveis por instalar todas as especialidades.
- A análise e controlo dos dados em *softwares* de Business Intelligence.

1. Desafios

1.1. Pré-fabricação e modelação de ferro

A direcção de obra pretendeu reduzir o desperdício de aço da estrutura de betão armado para otimizar custos e minimizar os pedidos de informação (RFI) durante a produção. Sendo estes tipicamente morosos, agilizá-los permitir-nos-ia aumentar o ritmo de produção das armaduras.

1.2. Compatibilização de especialidades

No decurso do projecto, a estrutura foi completamente alterada. Tivemos por isso de remodelar as especialidades, num processo colaborativo em servidor HCI pela equipa central com a equipa da obra. O subempreiteiro das especialidades desenvolveu então a preparação para a boa execução das especialidades em obra.

1.3. Preparação da obra em BIM

Foi necessário detalhar a modelação de todos os elementos para alcançarmos os níveis de informação definidos nas várias instruções produzidas pela equipa central VDC.

2. Soluções

2.1. Pré-fabricação e modelação de ferro

Foram modeladas 370 toneladas de ferro distribuídas pelos maciços, paredes dos núcleos, arranque dos pilares e pilares.

Para o planeamento da construção, alavancámos os recursos existentes e a ampla experiência interna para criar um processo nunca antes utilizado na HCI, apelidado de "corta, dobra e monta".

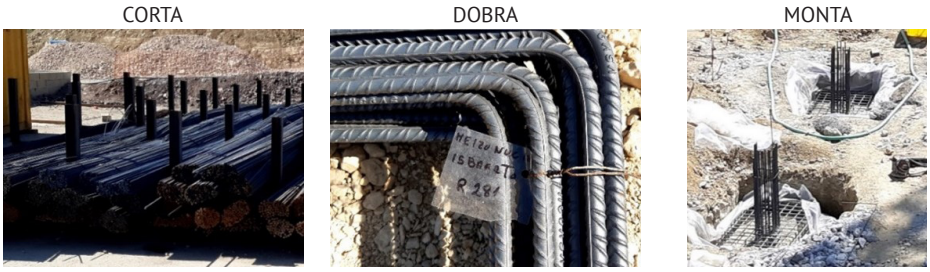


Figura 1
Processo Corta, Dobra e Monta.

Para otimizar e maximizar a utilização efetiva de todos os varões de ferro, cada um com 12m de comprimento, fizemos a alocação otimizada das armaduras pelos varões. Todos os varões foram catalogados e etiquetados por grupos de comprimento e de forma, com instruções para os três passos, para maior facilidade e rapidez das equipas da obra nas fases de corte, de dobragem e de montagem [1].

Este processo começou atendendo à forma das armaduras por diâmetro de ferro. Ligámos a modelação em Revit ao Dynamo, o que nos permitiu extrair, por armadura, a informação do comprimento necessário, o tipo de ferro e os elementos de betão armado respectivos.

No esquema de corte abaixo podemos ver a organização dos ferros distribuídos pelos varões de 12m. O algoritmo faz a otimização e distribuição automática dos ferros com o mesmo diâmetro e com a etiquetagem desenvolvida no modelo para minimizar o desperdício.

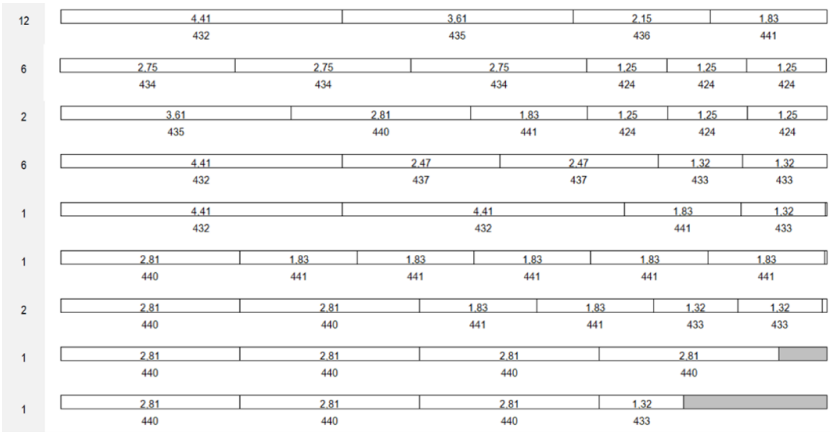


Figura 2
Esquema de corte.

Na dobragem desenvolvemos listas por elemento de betão. Aqui temos o exemplo de um maciço com as etiquetagens de corte, a forma de dobragem, as quantidades necessárias e o peso por Ø.

Ø	Ref.ª Nº	FORMATO	QUANT.	A (mm)	B (mm)	C (mm)	COMPR. UN. (m)	PESO UN. (kg)	PESO TOTAL (kg)
Ø12	3		16	600 mm	600 mm		1.18 m	1.05 kg	16.75 kg
	164		21	630 mm	4150 mm	630 mm	5.37 m	4.77 kg	100.08 kg
	166		28	630 mm	3150 mm	630 mm	4.37 m	3.88 kg	108.75 kg
	278		8	3190 mm	0 mm	0 mm	3.19 m	2.83 kg	22.66 kg
	282		8	4180 mm	0 mm	0 mm	4.18 m	3.71 kg	29.71 kg
	492		28	640 mm	3150 mm	640 mm	4.39 m	3.90 kg	109.08 kg
			109 un.						**387.02 kg**
Ø16	157		22	630 mm	4150 mm	630 mm	5.36 m	8.46 kg	186.05 kg
			22 un.						**186.05 kg**
Ø25	158		15	630 mm	4150 mm	630 mm	5.34 m	20.56 kg	308.44 kg
	329		16	640 mm	3160 mm	640 mm	4.37 m	16.82 kg	269.20 kg
			31 un.						**577.63 kg**
	TOTAL		**162 un.**						**1 150.70 kg**

Figura 3
Dobragem.

Por fim, elaborámos o manual de montagem desses elementos conforme as referências da etiquetagem.

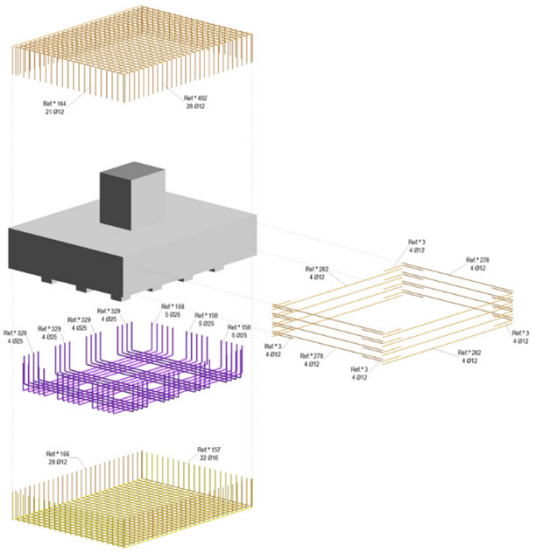


Figura 4
Exemplo de manual de montagem.

Enviámos então para a obra as tabelas de corte, otimizadas por elemento construtivo e por diâmetro.

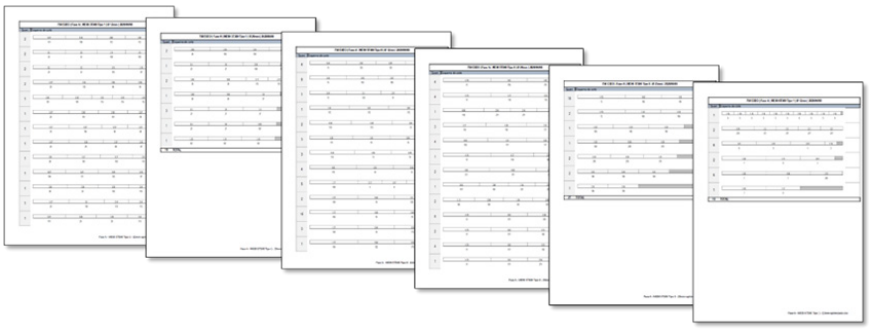


Figura 5
Tabelas de corte.

Figura 6
Exemplo de esquemas de dobragem por método construtivo.

A equipa central desenvolveu e divulgou, por fim, os manuais com os esquemas de montagem.

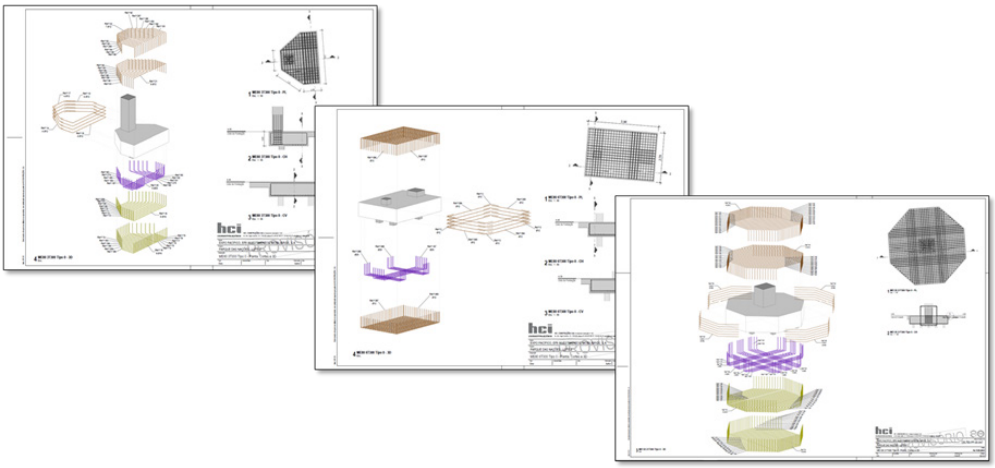


Figura 7
Exemplo de esquemas de montagem.

Esta metodologia foi desenvolvida com estreita colaboração com a obra, e foi afinada diretamente com o encarregado do ferro. Só assim foi possível passarmos da teoria à prática.

Máquina de dobragem de ferro | Afinação de procedimentos | Patilhas para etiquetagem

Figura 8
Passagem da teoria à prática.

Um modelo com este grau de detalhe é muito pesado e difícil de trabalhar. Não seria exequível ter um modelo que contivesse todos os elementos modelados exaustivamente. Tivemos de otimizar recursos humanos na modelação e recursos de *hardware*.

Criámos em Power BI uma matriz de elementos distribuídos por tipologias, por quantidades e por fase. Foi apenas necessário modelar um tipo de cada elemento construtivo; o programa ajustou as quantidades totais às especificações do projeto. Prever um único elemento modelado aumentou exponencialmente a rapidez de modelação e facilitou as alterações pontuais que foram sendo implementadas pelo projetista de estruturas.

Para analisar toda a informação desenvolvida nos modelos Revit foi criada uma ligação entre a base de dados do Revit e o Microsoft Power BI através do Dynamo. Isto permitiu-nos extrair todo o tipo de dados: quantidade de ferro por elemento de betão, por fase construtiva, por diâmetro, etc.

Com esta informação pudemos também criar bases de dados para consultas futuras de quantidade de aço por m³ de tipologia de elementos de betão – dados úteis para validar rácios em futuros concursos.

Figura 9
Power BI – Dashboard.

2.2. Compatibilização de especialidades

Com a alternativa da estrutura, que passou de lajes maciças de 22cm para lajes de cocos com 42.5cm de espessura, foi preciso desenvolver alternativas para todas as especialidades. Estas foram desenvolvidas e modeladas internamente pela equipa em obra e pela equipa VDC em sede, de modo a viabilizar todos os pontos críticos do edifício.

A validação técnica da compatibilização foi efetuada no Navisworks Manage, com a definição de parâmetros de sistema de redes de cada especialidade no Revit, que foram padronizados e detalhados por cor no Navisworks.

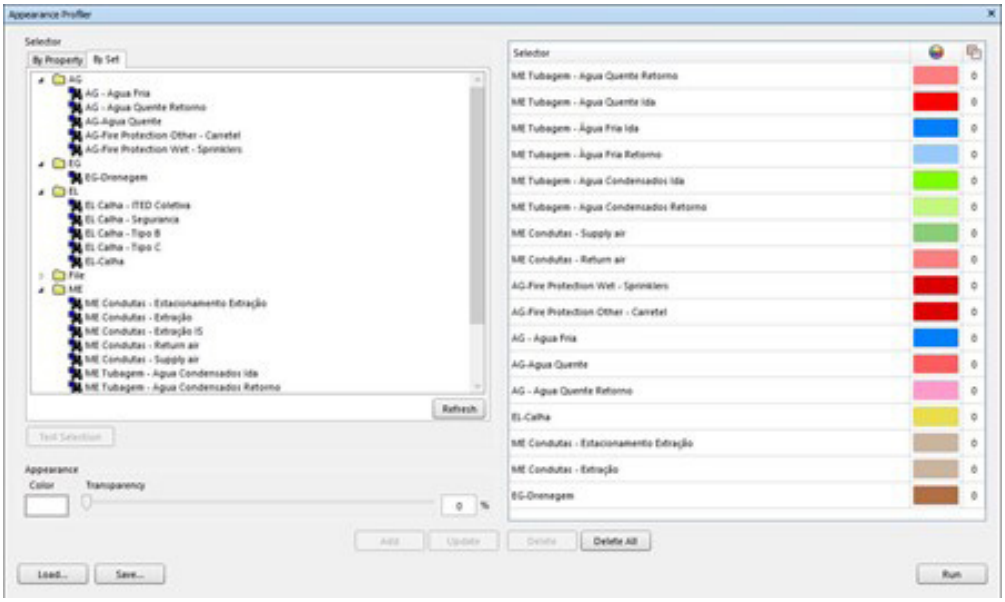


Figura 10
Especialidades separadas por tipologia e cor.

Estes *sets* de seleção serviram de base à análise de incompatibilidades que, por sua vez, definiram os padrões de coordenação do Navisworks para futuras coordenações de obras. As cores de cada rede de especialidade definida nos *sets* que foram comunicados a todos os intervenientes.

Clash Detective

AG vs AG

Last Run: 11 de maio de 2021 19:10:40

Clashes - Total: 88 (Open: 88 Closed: 0)

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
AG vs AG	Done	88	88	0	0	0	0
EL vs AG	Done	0	0	0	0	0	0
EL vs EL	Done	0	0	0	0	0	0
FE vs All	Done	33	33	0	0	0	0
ME vs AG	Done	24	24	0	0	0	0
ME vs EL	Done	2	2	0	0	0	0
ME vs ME	Done	105	105	0	0	0	0
Tecto vs EL	Done	0	0	0	0	0	0
Isolamento vs MEP	Done	0	0	0	0	0	0

Figura 11
Clash detective.

Na imagem abaixo podemos ver um ponto crítico do edifício, já compatibilizado com as novas tipologias de lajes. O facto de termos cores padronizadas por todos os modelos agilizou substancialmente a comunicação no decurso de reuniões de obra.

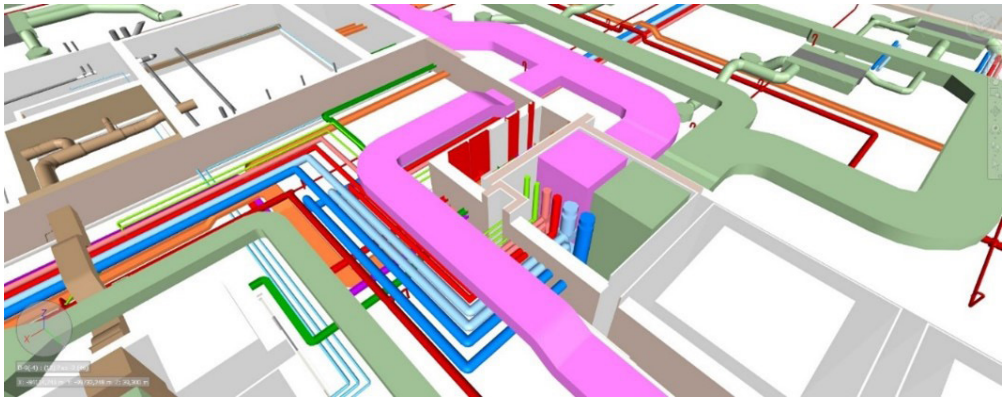


Figura 12
Especialidades alternativas já compatibilizadas separadas por tipologia e cor.

A apresentação da compatibilização na metodologia BIM teve um grande impacto por permitir uma análise mais profunda de todos os pontos críticos numa fase mais precoce, o que trouxe melhorias às soluções desenvolvidas e uma melhor preparação para produção na obra.

2.3. Preparação da obra em BIM

O *template* HCI contempla todos os *templates* de vista necessários para o desenvolvimento de toda a preparação, com base na classificação interna dos objetos, que deste modo automatizam e uniformizam o desenvolvimento da preparação de todas as obras HCI [2].

A equipa BIM da obra desenvolveu a modelação das paredes de alvenaria, que tiveram como base inicial o *template* Revit HCI. Este já tem definida a classificação de todas as tipologias de alvenarias, separadas por cores por espessuras e tipologias de tijolo. Tem também quantificadas as quantidades de tijolos por m2 desenvolvidos para que, a partir do modelo, possam ser extraídas para os pedidos de encomenda de material e feita a preparação para a sua correta colocação em obra.

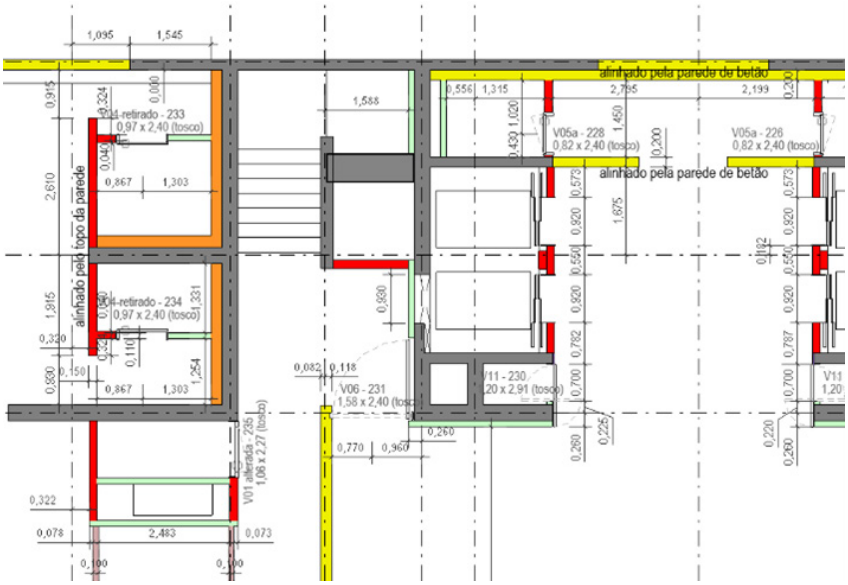


Figura 13
Modelação/preparação de alvenarias.

Com o *clash detective* identificámos necessidades de ajustes ao betão para executar a abertura de negativos para a passagem das especialidades. A vantagem de o fazer atempadamente implicou que fosse possível fazer o reforço do betão em torno do negativo.

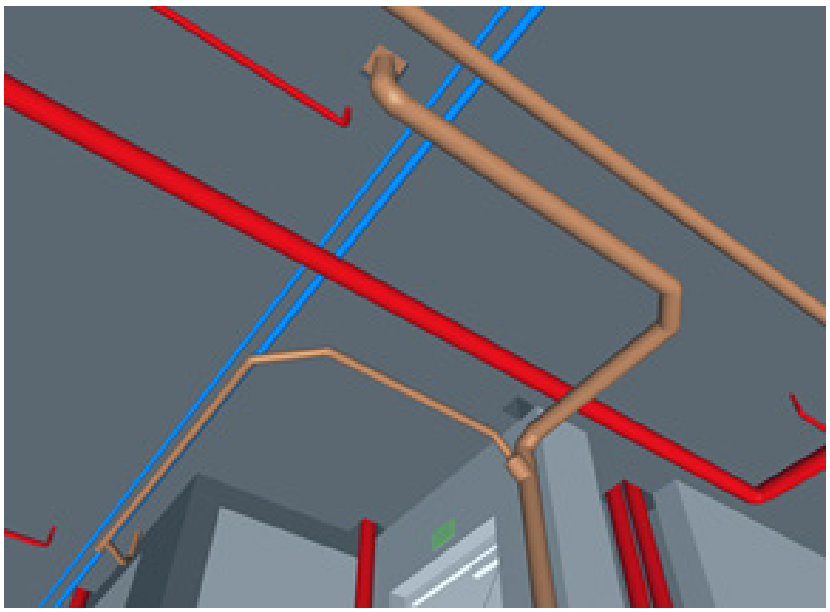


Figura 14
Compatibilização e desenvolvimento dos negativos – 3D.

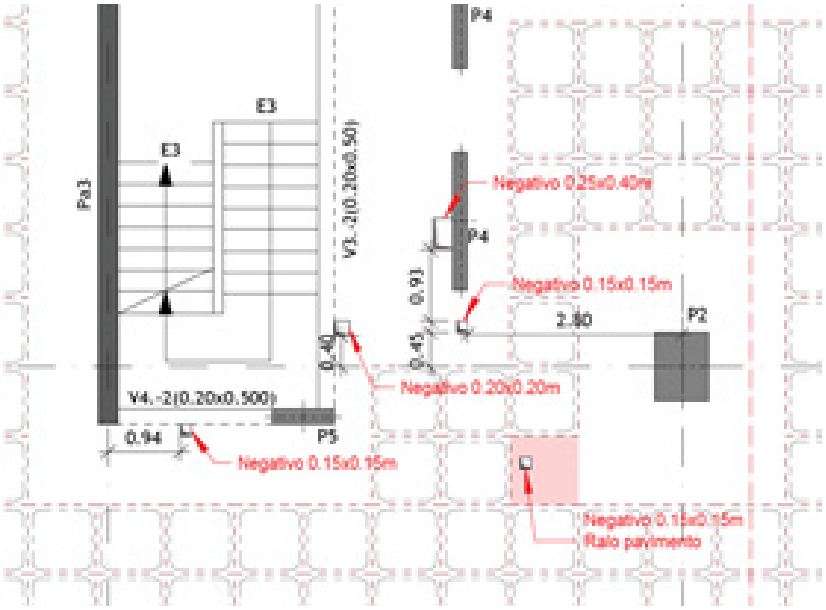


Figura 15
Modelo partilhado com o projetista – Planta.

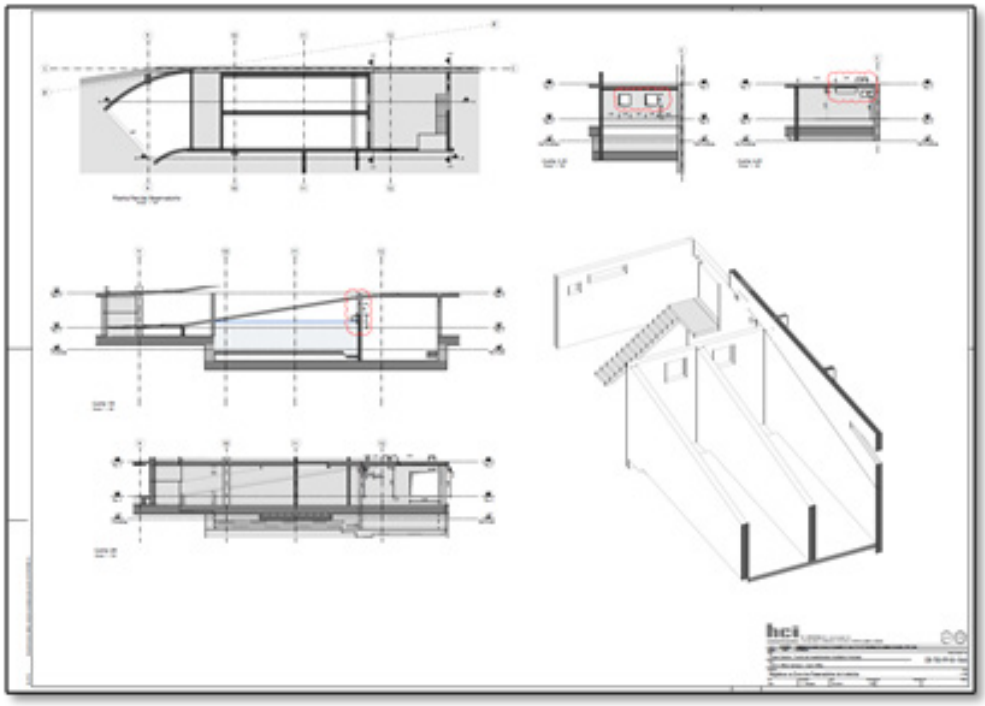


Figura 16
Desenhos de preparação de negativos verticais.

Fizemos também um estudo de pré-fabricação dos painéis de betão que atendeu às dimensões dos painéis de cofragem de que o empreiteiro dispunha, minimizando o encontro com o arranque dos pilares. O estudo em BIM foi muito mais célere face à metodologia tradicional.

Foi também necessário considerar a altura dos equipamentos na área técnica da cobertura. A equipa de preparação desenvolveu vários estudos com várias percentagens de pendente, de uma forma mais célere e integrada com as especialidades da drenagem das águas pluviais.

3. Resultados

Vimos claras mais-valias da implementação do BIM neste projeto.

Ao nível da pré-fabricação das armaduras, o BIM desbloqueou a elaboração de vários cenários de otimização face ao valor original de desperdício estimado de ferro, que rondava a casa dos 10%. Inicialmente desenvolvemos a totalidade da fase A e separámos os elementos por diâmetros, o que gerou uma previsão de otimização média de 98,3% e um desperdício de 1,7%. Eram dados muito interessantes; mas obrigavam a ter em estaleiro 180 molhos de etiquetagem de stock em simultâneo. Era uma solução inviável devido ao espaço do estaleiro de ferro.

Tivemos por isso a necessidade de, dentro da fase A, otimizar por tipo de elemento de betão. Nesta iteração baixámos a otimização; ainda assim, tivemos uma média de aproveitamento acima dos 95%, com um desperdício de 4,7%. A stockagem melhorou e tivemos em média 24 molhos por frente de trabalho.

Na compatibilização de especialidades, as mais-valias foram de índole qualitativa. Destacamos a melhoria na comunicação entre equipas internas e externas, a rapidez em encontrar soluções alternativas, a extração de quantidades e a possibilidade de comparação do projeto alternativo com o projeto de concurso.

Por fim, no que respeita à preparação de obra em BIM, todos os trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de produzir os desenhos de preparação coordenados entre si e possibilitar a correta extração de informação, tanto para pedidos de aprovação como de extração de dados para desenvolvimentos internos.

Subjacente a todas as etapas, destacamos a rapidez na preparação dos elementos para a produção da obra e informação enviada mais fidedigna e correta.

4. Boas práticas BIM e lições aprendidas

Após a formação das equipas foi notória a motivação para a mudança, visto que a informação está mais organizada e centralizada, o que ajuda a comunicação e às tomadas de decisão. Para a implantação da metodologia BIM este será o ponto critico para o sucesso deste desafio.

A definição de regras e standards são também um fator determinante para o bom desenvolvimento de uma obra desta dimensão e com vários intervenientes.

Toda a metodologia melhora a comunicação tanto interna como externa.

A redução de desperdício em obra de ferro, com o desenvolvimento do sistema "corta, dobra e monta" é um tema a desenvolver e sistematizar nas próximas obras. É também um aspeto bastante relevante tanto ao nível de custo como da sustentabilidade da obra.

A compatibilização e coordenação das especialidades, são também um tema de grande relevo e mudança em comparação com a metodologia tradicional, o que veio agilizar a comunicação, antecipar pontos críticos e também uma melhor tomada de decisão.

Em geral uma preparação de obra é no fundo "descascar" toda a informação de todos os modelos, incrementar mais informação e posteriormente padronizar toda a documentação para a produção eficaz de uma obra.

Referências

[1] BS 8666:2005 Scheduling, dimensioning, bending and cutting of steel reinforcement for concrete, ISBN 978 0 580 60699 1, BSI

[2] BIM FORUM, *Level of Development Specification Guide*, November 2017.

A transformação digital de uma construtora portuguesa – implementação holística de processos BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.20

Juliana Mizumoto[1], **Fábio Araújo**[2], **João Ferreira**[3], **José Carlos Lino**[4]

[1] *CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, ID ORCID 0000-0003-3698-4825*

[2] *Grupo ACA, Famalicão*

[3] *Grupo ACA, Famalicão*

[4] *BIMMS BIM Management Solutions, Porto, ID ORCID 0000-0002-1227-600X*

Resumo

A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) tem sido uma das principais apostas das empresas de Construção em Portugal para fazer face à transição para a Indústria 4.0. Uma implementação BIM bem-sucedida implica intervenções holísticas e interdisciplinares, aplicação em projetos de longo prazo e o apoio da gestão de topo suportada pelos colaboradores.

Neste trabalho, apresenta-se o desafio lançado por um grupo empresarial para se adaptar ao BIM, partindo de uma intervenção simultânea em três das suas empresas multidisciplinares. Tais empresas caracterizam-se também por terem distintas direções, métodos e processos de trabalho, desde a componente técnica à gestão do negócio. Como objetivos principais pretendia-se a continuidade da transformação digital do Grupo com a introdução do BIM de um modo estruturante, isto é, que abrangesse todas as áreas unindo metas e objetivos, que transformasse os processos de trabalho e fluxo de informação global da obra e além disso, que estimulasse a renovação da cultura organizacional.

A metodologia proposta foi compilada num Plano de Implementação BIM que se enquadrou numa estratégia transversal, identificando as sinergias entre áreas e os processos tradicionais das empresas. Este plano valorizou e aproveitou o *know-how*

e a experiência dos colaboradores para potenciar a eficiência desta implementação. Foram múltiplos os resultados atingidos ao longo de 11 meses de trabalho, desde a validação de uma metodologia abrangente de implementação BIM, a criação de processos de coordenação de projetos integrados, à execução personalizada de documentação BIM e dos processos de trabalho BIM para Preparação de obra. Tudo isto com a gestão da mudança e transformação de habilidades e conhecimentos de uma equipa tradicional para equipa BIM, fixando o conhecimento tácito da organização. Como consequência já se pode identificar o aumento de capacidade de adaptação ao mercado internacional de construção e o aumento de profissionais BIM qualificados para operar o BIM nas empresas do Grupo.

Palavras-chave: Implementação BIM, Processos BIM, Transformação Digital

1. Introdução

A disseminação do BIM na Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é uma realidade em diversos países [1] e em Portugal essa dinâmica não é diferente [2]. Têm sido significativos os esforços, quer a nível académico, quer empresarial, para o desenvolvimento de sinergias que favoreçam a aplicação do BIM na Indústria AEC. Vários documentos estruturantes têm sido publicados para auxílio e orientação da Indústria AEC neste processo. [3] [4]

Considerando as iniciativas, é possível afirmar que as vantagens da utilização do BIM pelas empresas de construção são já conhecidas e estão a ser disseminadas, o que resulta no aumento do interesse e da procura das organizações para a implementação desta metodologia. Essas organizações buscam alavancar a gestão das obras, a melhoria da qualidade dos projetos, a maior transparência na gestão da informação logo beneficiar das vantagens do BIM, já identificadas em diversas referências sobre o tema [5] [6]. Para além dos benefícios do BIM, há também um crescente interesse em adequação às normas internacionais que interferem na gestão dos contratos da construção como por exemplo, a ISO 19650 [7], que na sua primeira série, confirma a necessidade de normalização do método de transferência da informação dentro do setor da Construção.

Apesar das inúmeras vantagens, a implementação do BIM apresenta conhecidas barreiras [8], tais como os altos custos de investimento inicial, a necessidade de apoio governamental para normalização e reestruturação dos contratos, a escassez de mão de obra especializada, a resistência à mudança nos métodos de trabalho, já que a implementação BIM pressupõe a intervenção holística e interdisciplinar numa empresa [9], e ainda, o esforço de implementação de projetos de longo prazo que necessitam além do apoio da gestão de topo, também da aceitação e dedicação dos colaboradores [10].

Os resultados de modelos diversos de implementação têm sido avaliados durante vários anos [11], e o que se observa é um panorama plural na maturidade alcançada,

diverso na abordagem de usos nas empresas e singular na conclusão de necessidade de envolvimento interdisciplinar [12].

Seguindo esta tendência e direção, este trabalho aborda em formato de Estudo de Caso o processo de implementação BIM no Grupo ACA, entidade empresarial portuguesa de engenharia e construção, constatando a eficácia da personalização de um método de implementação holística. O projeto de implementação baseia-se em método fundamentado em investigações anteriores que, dentre elas, suportam as decisões de estruturação da estratégia [13] [14], que consiste na elaboração de um Plano de Implementação BIM personalizado para cada área de negócio [15] e que utiliza as informações singulares da empresa para a efetivação da implementação BIM [16] [17] [18].

2. Enquadramento

O desafio da implementação partiu do interesse do Grupo ACA na adaptação dos seus processos correntes ao BIM. O grupo optou por iniciar a implementação em três das suas principais empresas de construção: ACA Engenharia e Construção (Edificações), IELAC (Instalações Elétricas e Ar condicionado) e AMBIAGUA (Infraestruturas Hidráulicas e Ambiente) e envolver duas das principais áreas do Grupo ACA Produção e Orçamentos. Tais empresas possuem estruturas diretivas distintas, além de métodos e processos de trabalhos autónomos, sendo imprescindível que a implementação BIM abrangesse desde a escala técnica à gestão do negócio, garantindo que os processos BIM fossem integrados no método tradicional de trabalho. Como objetivos, deveriam fazer parte desta iniciativa a transformação do Grupo através do BIM de maneira estruturante, isto é, que alcançasse todas as áreas, unindo metas e objetivos, a transformação dos processos de trabalho e fluxo de informação global da obra e a renovação da cultura organizacional através dos métodos de trabalho BIM.

3. Metodologia de implementação BIM

O método de implementação consiste no desenho de um plano estratégico transversal que se sustenta através do encontro de sinergias identificadas entre áreas e processos tradicionais das empresas. Tal método permitiu utilizar o know-how e a experiência dos colaboradores para aumentar a eficiência dos trabalhos realizados durante 11 meses de implementação coordenada pelos autores deste trabalho.

A proposta da implementação consistiu em 4 fases: Diagnóstico, Plano de Implementação BIM (PIBIM), Formações e Projeto Piloto (Figura 1).

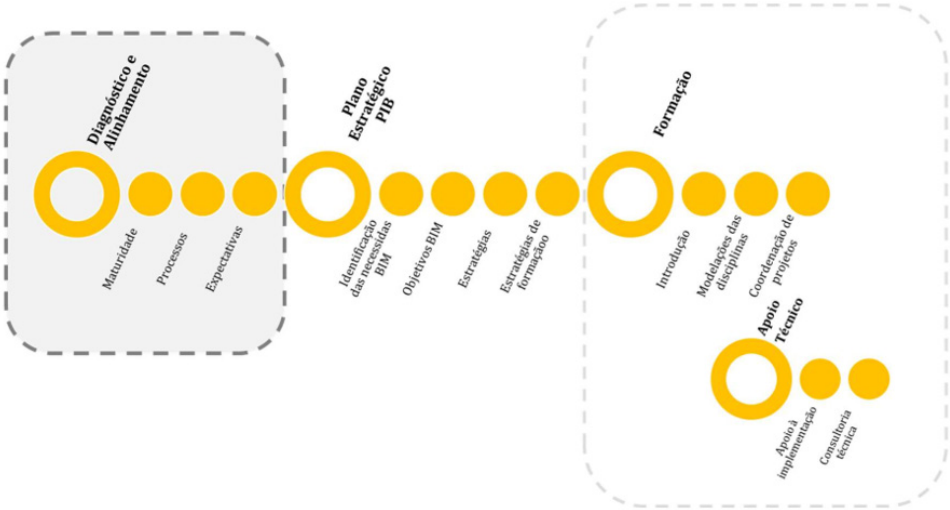


Figura 1
Fases principais da Implementação BIM.

Durante a primeira fase 1 de Diagnóstico, foram realizadas reuniões orientadas para a recolha de informações da empresa, direcionadas para as principais áreas de intervenção BIM: Pessoas, Processos, Tecnologia e Políticas. O principal propósito desta fase de Diagnóstico é a identificação do estado atual de maturidade da organização, seja a nível de competências e qualificações BIM dos seus colaboradores, mas também a nível de parque tecnológico e adequação dos processos à metodologia BIM. Esta identificação tem uma vertente qualitativa, explicitada numa matriz de maturidade completa, onde são identificados as expectativas e os receios que uma mudança desta envergadura sempre traz, mas também uma definição quantitativa muito rigorosa, que culmina na obtenção de indicadores que servirão para medir o progresso e a evolução da maturidade BIM no futuro. (Figuras 2 e 3)

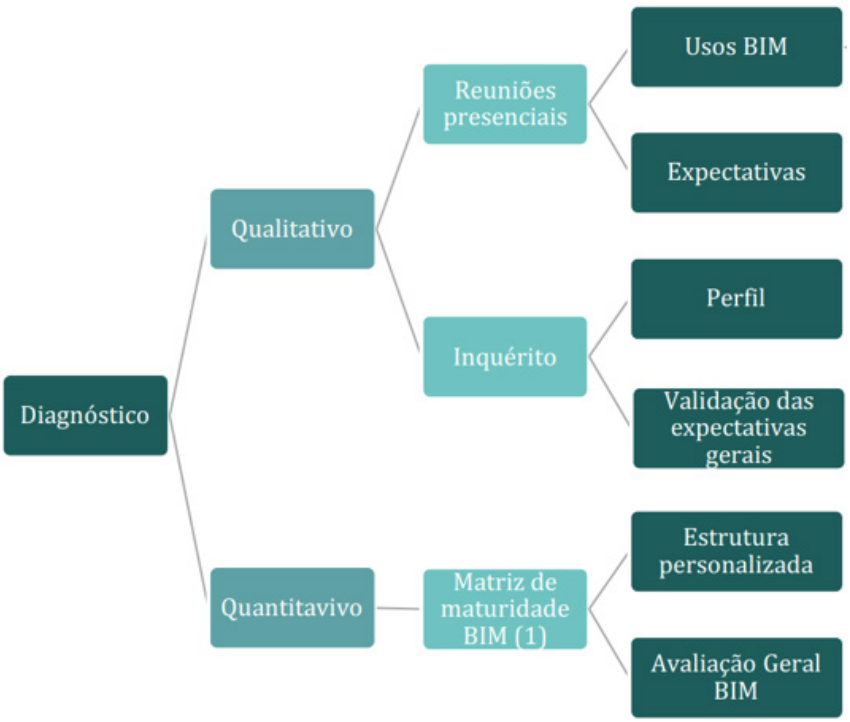


Figura 2
Desenvolvimento e estrutura do Diagnóstico BIM.

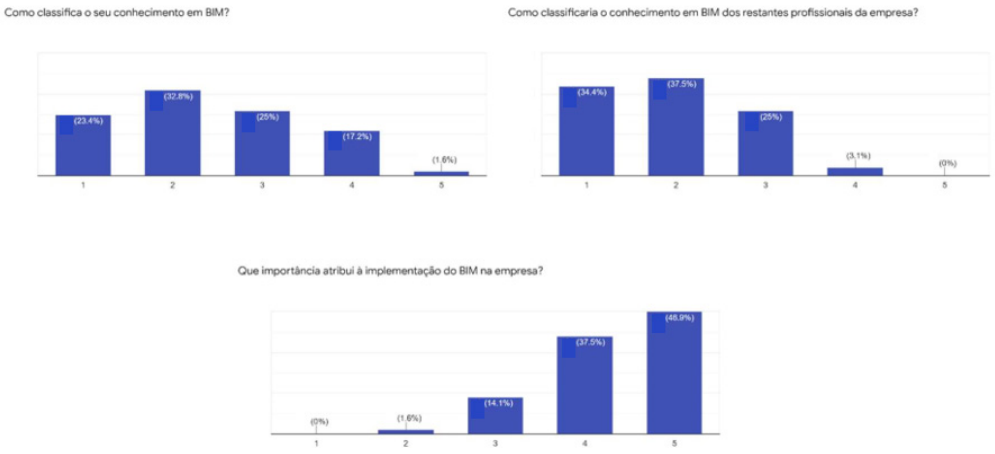


Figura 3
Inquéritos para validação das expectativas.

O produto desta primeira fase serviu de suporte à criação do PIBIM (fase 2), que consistiu num documento que além de compilar as informações recolhidas no diagnóstico, tais como a maturidade BIM na empresa, aponta orientação para formações necessárias de acordo com o conhecimento dos colaboradores, orientação na área de tecnologia para melhores decisões sobre investimento em softwares e hardwares de acordo com necessidades e, por fim, o redesenho do processo de trabalho global da empresa considerando os novos objetivos a longo prazo. Faz parte deste documento um levantamento e adaptação exaustiva dos mapas de processos das diversas áreas bem como uma análise SWOT, que sempre ajuda a definir as orientações estratégicas tendo em conta o ambiente interno e a conjuntura em que se insere. Este documento culmina num cronograma detalhado que procura estabelecer as ações com vista a atingir as metas de curto, médio e longo prazo, vencendo assim a diferença entre o que está atualmente com o que se deseja que venha a estar. (ver Figura 4)

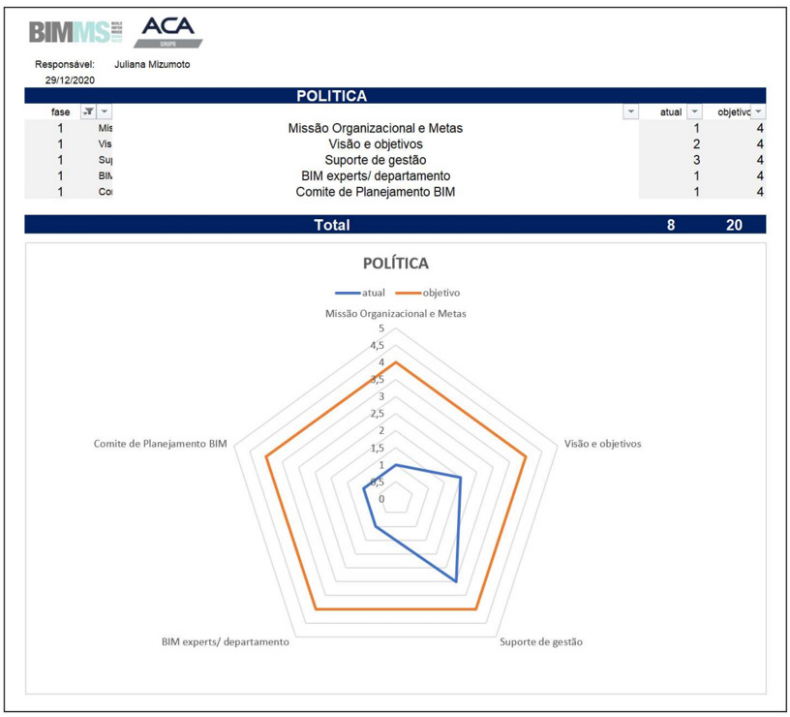


Figura 4
Resultados da quantificação de maturidade vs Objetivos BIM.

Neste plano de implementação também se orientou a escolha de um projeto Piloto que englobasse as áreas de Preparação, a de Gestão de obras, de Planeamento, e que atendesse aos novos objetivos, isto é, que a partir da sua execução, a equipa do projeto pudesse ser capaz de aprender e desenvolver os principais documentos, templates, padronização e aprimorar a recolha de requisitos de projetos e de obra.

A terceira fase, a das formações, consistiu na conceção, preparação e leccionamento de 7 módulos de aulas, coordenados dentro do projeto da implementação, todas orientadas para os objetivos desenhados no PIBIM (Figura 5).

- **29 alunos**
- **Fevereiro a Julho 2021**
- **236h de aulas on-line**
- **7 módulos**
- **Avaliações internas**

Módulos	Assunto
M1	Introdução, enquadramento e alinhamento de expectativas BIM
M2	Modelação BIM de Edifícios (Revit)
M3	Modelação na Arquitetura
M4	Modelação nas Estruturas
M5	Modelação MEP
M6	Modelação Infra Linear- 3d Civil
M7	Coordenação BIM (Navisworks)

Figura 5
Formação BIM – Módulos e principais dados.

Além destas formações houve uma sessão de alinhamento e discussão do estado da arte só com a gestão de topo. Ao longo de todo o projeto, os formadores/consultores estiveram a prestar assistência técnica permanente consoante as necessidades especificas.

A quarta fase, prática, consistiu no Projeto Piloto. Para tal, foram designados colaboradores com funções interdisciplinares e escolhidos dois projetos de estruturas distintas: um para ACA Engenharia e Construção e IELAC e outro para a AMBIAGUA.

3.1. Atividades transversais

O plano de Implementação BIM além de registar a estratégia orientada, também identificou as metas e objetivos para cada uso BIM selecionado, bem como a integração do seu planeamento e gestão entre todas as empresas do grupo, garantindo transversalidade a esta implementação. (Figura 6)

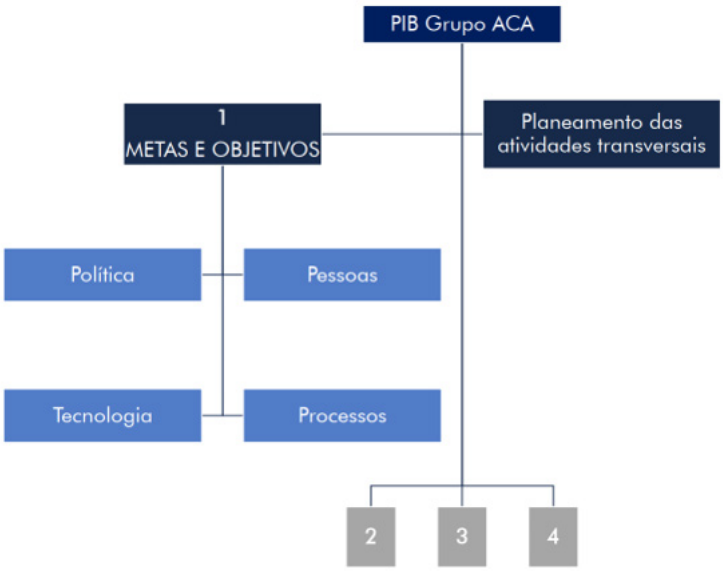


Figura 6
Macro estrutura da execução da implementação.

Tendo em conta esta macro estrutura, foram traçadas metas e objetivos de curto, médio e longo prazo para cada atividade relacionada com o uso BIM desejado. Após o mapeamento global do que se pretendia nas empresas, um dos grandes desafios foi a estruturação do planeamento das atividades que permitisse a participação dos colaboradores nas atividades práticas e que se traduzisse no cumprimento das metas e objetivos traçados pelo plano. Para atender ao planeamento foram selecionados os participantes da Equipa de Implementação, de um lado a equipa de consultoria BIM formada por uma BIM Manager e a equipa de consultoria da empresa BIMMS. E da parte do Grupo ACA, um BIM Manager e seis colaboradores das 3 empresas dos projetos Piloto (Preparação de obra, planeamento, MEP e gestão).

O planeamento traduziu-se num cronograma a nível de atividades de produção semanal, com atribuição de responsabilidades para a consultora BIM, para o BIM Manager do Grupo ACA (autores) bem como para a equipa dos Projetos Pilotos (colaboradores das 3 empresas do Grupo ACA). A estruturação deste planeamento foi também fundamentada numa investigação anterior, que organiza através de uma *framework* os grupos de trabalho e as principais atividades realizadas num projeto BIM para cada fase de desenvolvimento [16] e considera ainda que, em cada uma delas, há uma ampliação de inputs de outros departamentos da empresa e, consequentemente, de informação a ser acrescentada no projeto.

As atividades do planeamento foram pensadas para serem transversais à empresa, para responder aos objetivos da mesma e para que a partir delas, os resultados de produção fossem as documentações de interesse e para aproveitamento de toda a Organização (Documentação, *templates*, biblioteca).

3.2. Projetos piloto

Após o planeamento estruturado foram selecionados dois projetos de natureza distinta: um edifício e uma estação de tratamento de água. No entanto, o raciocínio transversal do plano de implementação permitiu organizar as atividades de desenvolvimento dos projetos de maneira a serem complementares e aproveitadas por todas as 3 empresas.

A realização dos projetos contou com um planeamento semanal, onde foram realizadas reuniões de coordenação para estruturar o BIM central do Grupo ACA, responsável pela gestão futura da padronização e distribuição da informação nas obras, e outra de reunião prática para atendimento das equipas de cada projeto piloto. Fizeram parte da reunião prática outros consultores técnicos específicos de cada disciplina modelada e durante essas reuniões, os colaboradores das empresas puderam apresentar o desenvolvimento dos seus projetos sob a orientação de uma equipa técnica especializada nos softwares adotados e sob a coordenação central do projeto, responsável por manter a implementação dentro do planeado e assim, garantir a produção constante.

O planeamento foi coordenado para que seguisse a produção e adaptação de documentos de coordenação de projetos e BIM conforme necessidade da empresa, e, ao mesmo tempo, desenvolver a parte prática do BIM que consiste na organização e capacitação no CDE (*Common Data Environment*) específico para a empresa, considerando a maneira tradicional de trabalho (sharepoint e acessos hierarquizados ao sistema), a produção de Plano de Execução BIM padrão da empresa, Guia BIM direcionado aos projetos da Organização, além de biblioteca de elementos, templates de trabalho e documentação padrão orientada para a preparação de obra.

4. Resultados

O planeamento de médio prazo da implementação foi concluído em 11 meses.

Os objetivos de curto e médio prazo foram atingidos na sua maioria, nomeadamente os processos BIM de gestão de obras foram mapeados, os usos BIM inicialmente definidos foram testados e validados, alguns processos manuais foram automatizados (quantitativos e produção de documentação), a equipa foi preparada para um teste em Projeto Piloto real, foi produzida a documentação BIM para Projeto Piloto (contratos e guias) e foram introduzidas melhorias nos processos e procedimentos de coordenação de projetos.

Assim, como resultado final, validou-se esta metodologia de implementação que assentou essencialmente na criação conjunta de processos de coordenação de projetos integrados no sistema de gestão do Grupo, na execução personalizada de documentação BIM, nos processos de trabalho BIM para Preparação de obra, na transformação da equipa tradicional em equipa BIM. Com este trabalho garantiu-se a fixação

do *know-how* na empresa valorizando, aprimorando e explicitando o conhecimento tácito da Organização.

Como objetivos de futuro e pensando em passos subsequentes foram identificados os múltiplos Projetos Piloto que se podem a realizar em cada área e em cada uma das empresas, a automatização de ferramentas, o desenvolvimento e otimização de novos usos BIM, o envolvimento de outras áreas e de outras empresas do grupo, o desenvolvimento de novas competências BIM bem como a gestão e transferência de conhecimentos BIM em toda a organização.

5. Conclusões

Em conclusão, a apresentação deste trabalho torna-se relevante para a Indústria da Construção portuguesa pois ao explicitar e detalhar uma metodologia de implementação validada, demonstra o esforço necessário de uma empresa nacional para se adaptar a uma qualquer normalização BIM, nomeadamente aos requisitos BIM cada vez mais impostos pelo mercado internacional de construção. Além desta vertente internacional, é já notório o aumento de profissionais qualificados para atender a novos contratos BIM em Portugal. O trabalho desenvolvido em mapas de processos para o setor, nomeadamente descrevendo a preparação de obra e a sua integração em processos BIM serão por certo assuntos a discutir e importantes mais valias para o desenvolvimento dos projetos de construção.

Agradecimentos

Agradece-se todo o apoio e incentivo da gestão de topo do Grupo ACA, bem como a todos os colaboradores que foram abrangidos direta e indiretamente por esta implementação BIM, pela sua disponibilidade e colaboração junto dos autores, a qual foi essencial para o bom sucesso deste trabalho.

Referências

[1] Mcauley, B., Hore, A., & West, R. (2016). BICP Global BIM Study-Lessons for Ireland's BIM Programme. Reports. https://doi.org/10.21427/D7M049

[2] Venâncio, M. (2015) Avaliação da Implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal, Universidade do Porto

[3] CT197 Costa, A. A., Azenha, M., Martins, J. P., Pinho, R., Ribeirinho, L., Campos, M., Rodrigues, I., & Reis, R. C. (2020). BIM nas Autarquias. Guia compreensivo para implementação do BIM – CT197

[4] CT197 Costa, A., Matos B., Drumond D., Rodrigues I (2017) Guia da Contratação BIM, CT197- Instituto Superior Técnico, ISBN 978-989-98342-9-3

[5] Ahn, Y. H., Kwak, Y. H., & Suk, S. J. (2016). Contractors' Transformation Strategies for Adopting Building Information Modeling. Journal of Management in Engineering. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000390

[6] Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. Procedia Engineering. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097

[7] International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles.

[8] Dong, R.-R., & Martin, A. (2017). Research on Barriers and Government Driving Force in Technological Innovation of Architecture Based on BIM. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(8), 5757–5763. https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.01025a

[9] Arayici, Y., Egbu, C., & Coates, S. (2012). Building information modelling (BIM) implementation and remote construction projects: issues, challenges, and critiques. In Electronic Journal of Information Technology in Construction (Vol. 17).

[10] Coates, P., Arayici, Y., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2010). The key performance indicators of the BIM implementation process. EG-ICE 2010 – 17th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering.

[12] Observatory, E. construction sector. (2019). Building Information Modelling in the UK construction sector.

[13] The Pennsylvania State University. (2013). BIM Planning Guide for Facility Owners. http://bim.psu.edu

[14] Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003

[15] Azzouz, A., & Hill, P. (2017). How BIM is assessed using Arup's BIM maturity measure? Association of Researchers in Construction Management, ARCOM - 33rd Annual Conference 2017, Proceeding.

[16] Mizumoto, J. A., & Oliveira, F. (2020). BIM strategy: using the project's interdisciplinarity to implement the methodology. STECONF- 6th International Conference on Modern Approaches in Science, Technology &Engineering. https://www.dpublication.com/wp-content/uploads/2020/07/30014.pdf

[17] Arup (2014) The BIM Maturity Measure model. Available from http://www.arup.com/Services/Building_Modelling.aspx [Accessed 26th February 2016].

[18] Succar, B. (2010). Building information modelling maturity matrix. Handbook of research on building information modelling and construction informatics: Concepts and technologies, J. Underwood and U. Isikdag, eds., IGI Publishing, 65-103.

Engenharia do conhecimento – uma abordagem da interação BIM e *Lean*

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.21

Thayane Rezek[1], **Maria Freitas**[1], **Sérgio Scheer**[1]

[1] *Universidade Federal do Paraná, Curitiba*

Resumo

A construção civil enfrenta desafios induzidos pela informação fragmentada de fontes heterogêneas e autônomas. A adoção do modelo da informação da construção (BIM) traz melhorias ao projeto tornando o processo eficiente e mais produtivo, aumentando sua qualidade e gerando informações mais precisas, ao passo que a Lean Construction parte de princípios para redução de desperdícios com materiais e serviços desnecessários, também tornando o processo de produção mais eficiente e produtivo. A viabilidade da interação do BIM e da filosofia Lean tem sido alcançada em escritórios de projetos e em canteiros de obra com auxílio de tecnologia. Por outro lado, a visão da engenharia do conhecimento está nos processos de criação, organização, formalização, compartilhamento, aplicação e refinamento de conhecimento. Tem-se por objetivo prospectar a partir dos conceitos de engenharia do conhecimento o quanto a interação do BIM com a Lean proporciona em termos de melhoria na tomada de decisão. A pesquisa consiste em uma revisão sistemática de literatura que aborda o uso do BIM e da Lean na fase de execução de construção em canteiro de obra. Com os resultados e análises realizadas, considera-se que as abordagens das práticas Lean e processos BIM permitem a gestão estratégica da informação, fato que pode orientar a implantação de procedimentos de engenharia do conhecimento que, uma vez bem ajustada, conduz a ganhos para a gestão do conhecimento.

1. Introdução

Algumas das causas para desperdício na indústria da construção civil são as inconsistências entre documentos de desenho, o fluxo restrito de informações em grandes entregas e os lapsos temporais após os pedidos de informação [1], sendo a fragmentação das fases durante o ciclo de vida do empreendimento uma consequência da caracteristica da cadeia produtiva, em que os agentes envolvidos trabalham de forma segregada [2].

Para melhorar os processos de trabalho de muitos atores do processo construtivo e acrescentar a possibilidade de modelar o ciclo de vida de uma edificação, tem-se utilizado a Modelagem da Informação da Construção (em inglês, *Building Information Modeling* – BIM)[1]. O BIM se caracteriza pelo trabalho colaborativo entre os interessados durante o processo relacionado à construção do produto edificação e pelas relações paramétricas que permitem que o modelo tenha as informações interligadas. Com auxílio da tecnologia ganha-se qualidade no processo de projeto, ao longo de todo o ciclo de vida do produto, tendo uma melhoria no produto final, dentre os beneficios destacam-se: visualização antecipada e mais precisa de um projeto; detecção de interferências; colaboração antecipada entre múltiplas disciplinas de projeto; melhor implementação e técnicas de *Lean Construction*; melhor gerenciamento e operação das edificações [3].

A utilização do BIM contribui muito para evitar as perdas pela maneira com a qual as informações são geradas, administradas e transmitidas [1]. A riqueza de informação nos modelos permite mudanças drásticas nos processos de projeto e construção [3]. Como no ciclo de vida do empreendimento ocorre um intenso fluxo de informação, para sua gestão há a necessidade de de integrar processos, tecnologias e pessoas em prol de objetivos estratégicos [4]. Com isso a informação passa a ser objeto de papel relevante na gestão ao visar obtenção de estratégias para vantagem competitiva [5].

A engenharia do conhecimento se concentra na implementação de sistemas de forma a fornecer um fluxo eficiente de informações [6], ou seja, apoia o processo de gerenciamento do conhecimento por meio de técnicas, ferramentas e métodos para o desenvolvimento de sistemas computacionais. Dessa forma aparece no contexto do processo de gerenciamento como uma solução para a complexidade gerir a informação e transformá-la em conhecimento [6]. A aplicação de uma série estruturada de tarefas, atividades ou procedimentos relacionados à forma de obtenção, de distribuição e de uso da informação e do conhecimento no ambiente em que estão inseridos pode ser definida como gerenciamento da informação [5].

A adoção dos processos em BIM possibilita o fornecimento de insumos necessários para orquestração de uma intensa pluralidade e quantidade elevada de informações, fato que evidencia o potencial para uma transformação dos processos de projeto e construção, pois um dos motivos para a existência de replanejamentos e excesso de custos de acordo com Matthews *et al* [7] é o retrabalho e a fraca produtividade advindas da prestação ineficaz de informações durante a construção.

A falha em atingir as metas de custo e cronograma são entendidas como perdas de valor [8]. O autor fez uma adaptação do conceito da *Lean Production* para a indústria da construção, a partir do sistema Toyota de produção estabelecendo onze princípios que guiam o estudo do sistema de produção a fim de minimizar o desperdício de materiais, tempo e esforço para gerar o máximo valor agregado, com isso apresentou um novo paradigma de gestão da produção que pode ser conceituada em três aspectos complementares: (1) Transformação, (2) Fluxo e (3) Geração de Valor.

A viabilidade do relacionamento entre processos BIM e a filosofia *Lean* se tornarem devidamente compreendidas, e se essas áreas estiverem enraizadas na compreensão conceitual da teoria da produção, essas interações podem ser exploradas para melhorar continuamente processos de construção [9]. Para os autores ainda que a *Lean* e o BIM não dependam um do outro, todo o potencial de melhoria dos projetos de construção só pode ser alcançado quando a sua adoção é integrada. O processo de tomada de decisão de uma organização se apoiado por uma metodologia que propicia processos e ferramentas para fornecer estratégia, inteligência competitiva e planos – estará aplicando conceitos de engenharia do conhecimento [6]. Como pessoas diferentes analisam o mesmo objeto como dado, informação ou conhecimento a metodologia da engenharia do conhecimento possibilita a transição entre as três dimensões dependendo agora do histórico e da perspectiva da análise do sistema e não mais da pessoa [3].

Considerando as sinergias entre BIM e *Lean* Sacks *et al* [10] sugeriram utilizar tecnologia de mídia eletrônica para visualização do modelo BIM associado aos conceitos da filosofia *Lean*, pois no canteiro de obra, o problema da comunicação é gerado pelo erro na entrega das informações do produto aos trabalhadores. Dessa forma, evidencia-se que no BIM: tem valor a informação com qualidade, ela fluir entre as diferentes disciplinas, a cadeia de valor é interligada pelas diferentes camadas (nD), a informação deve ser gerada na quantidade necessária ao projeto (puxar) e a melhoria contínua é desejada para tomada de decisão, a partir do entendimento e aplicação dos princípios *Lean* no processo de geração de dados e informação de um sistema BIM [3].

Como resultado dessa facilitação no processo de gestão da informação dentro dos sistemas da organização será a eficiência no processo de tratamento das informações para extrair conhecimento estratégico, a partir da informação recuperada e processada pela engenharia do conhecimento para descobrir o conhecimento subjacente, como base para a tomada de decisões [6].

O gerenciamento da informação em si dificilmente é encontrado na indústria da construção, mesmo que ela envolva o uso de inúmeros sistemas computacionais e materiais, exigindo sinergismos entre diversas disciplinas e competências de diferentes áreas, pois a criação das informações está inserida em todas as fases do processo e é feita de forma segregada, sem um fluxo e gerenciamento bem definido. Com o objetivo de identificar a partir da revisão de literatura, este artigo se propõe a responder se a implantação dos modelos BIM para o gerenciamento da obra baseado

na filosofia Lean permite iniciar um processo para implantar a engenharia do conhecimento com base nos ganhos do fluxo e gerenciamento de informação.

2. Método

A abordagem da pesquisa é exploratória porque objetiva levantar informações sobre funcionalidades BIM e princípios *Lean* mais relevantes para aplicação em projetos de construção, a fim de identificar a possibilidade da implantação da engenharia do conhecimento a partir da revisão sistemática de literatura. Com isso a estratégia da pesquisa foi definida tendo em vista a necessidade de encontrar estudos da temática BIM com uso na fase de execução em canteiro de obras que também tratassem da filosofia Lean para a gestão da informação.

Para cumprir a estratégia traçada a pesquisa inicial foi realizada em 3 bases de dados, sendo *Scopus*, *Web of Science* e do Portal de Periódicos da Capes, buscando pelas variações variações dos termos "BIM" and "Lean construction" and "construction site" e que tenham sido publicados entre os anos de 2010 e 2020.

Na figura 1, o processo de definição para seleção dos artigos para leitura foi feito pelos seguintes passos: (1) pesquisa inicial, (2) leitura de títulos e exclusão de títulos não pertinentes ao tema, (3) remoção de artigos duplicados, (4) eliminação de artigos a partir da leitura dos resumos, (5) eliminação de itens a partir da leitura de textos completos e, por fim, a análise dos artigos selecionados.

BASE DE DADOS	BUSCA GERAL PARA OS ANOS ENTRE 2010-2020	LEITURA DE TITULOS	SEM ACESSO AO ARTIGO	TOTAL DE CADA BASE	EXCLUSÃO DE ARTIGOS DUPLICADOS	EXCLUSÃO PELA LEITURA DO RESUMO	EXCLUSÃO PELA LEITURA COMPLETA
CAPES	15	7	0	7	13	19	4
SCORPUS	74	49	7	42			
WEB OF SCIENCE	32	19	11	8			
Total	121	75	18	57	44	25	21

Figura 1
Filtros.

Na segunda etapa aplicou-se o primeiro filtro que consistiu na leitura dos títulos para selecionar os artigos com potencial relevância para a questão de pesquisa deste estudo. Na terceira etapa o segundo filtro foi aplicado para eliminar os artigos duplicados. Em sequência na quarta etapa foi realizada a leitura dos resumos como terceiro filtro para selecionar os artigos que realmente continham informações relevantes para a discussão do tema da pesquisa.

Na quinta etapa foi realizada uma análise detalhada dos textos com o objetivo de identificar conteúdos relevantes no contexto de planejamento e gerenciamento do canteiro de obra envolvendo as práticas Lean e o uso do BIM para melhorar a eficiência do fluxo de informação para alcançar um nível estratégico, não envolvendo a logística do canteiro de obra, que é um assunto que apareceu com frequência durante a pesquisa.

Como primeiro passo no processo de análise foram observadas as palavras chave e a tipologia dos artigos selecionados. Dentre os 21 artigos selecionados notou-se uma

variedade de palavras chaves, ao total foram 63 diferentes palavras ou variações de palavras. As que tiveram maiores repetições foram BIM/*Building Information Modeling* com 20 vezes e *Lean/Lean Construction/Lean Construction Management*/LCM foram 16 vezes, enquanto que *Visual Management* apareceu quatro vezes. Para a variação de termos *Information/Information Integration/Information Management* também foram quatro vezes, seguido por *Last Planner System* com três vezes. Com duas repetições foram as palavras chave *Process visualization, Information systems* e *Field trials*. Todas as outras 55 apareceram apenas uma vez.

Para análise da tipologia os artigos foram divididos em dois grupos sendo: os estudos de caso em que aplicaram uma ferramenta para abordar as duas práticas em conjunto, e teórico conceitual em que tratam da possibilidade de se criar uma ferramenta ou utilização de recursos e sistemas de TI para uma melhor integração das ferramentas. Dos 21 artigos selecionados sete foram enquadrados como teórico conceitual e quatorze estudos de caso.

3. Resultados

Os resultados serão analisados conforme a separação da tipologia feita na primeira análise.

3.1. Teórico conceitual

Dos sete artigos enquadrados nessa tipologia, dois desenvolveram ferramentas de gerenciamento – KanBIM e VisiLean – a diferença das ferramentas consiste no foco dos sistemas. O KanBIM foca no controle do fluxo de trabalho, sistema habilitado para BIM para apoiar o planejamento da produção e o controle diário da produção nos canteiros de obras [10], enquanto o foco do VisiLean é no planejamento e controle da produção, sistema de gerenciamento de produção enxuto que usa o BIM como plataforma visual e permite a programação do fluxo de extração no canteiro de obras [11].

A partir da proposição de uma combinação para comunicação de um aplicativo de gerenciamento de produção com mensagens Quantum Lifecycle Management (QLM) [12]. Os autores explicam que o sistema interpretará automaticamente a imagem e identificará o status apropriado da tarefa e com cada atualização no status da tarefa, a infraestrutura de comunicação (com base nos padrões de mensagens QLM) atualizará o sistema de gerenciamento de produção.

Dave *et al* [13] propõem um quadro de comunicação de trabalho que possibilite alavancar a comunicação sistema-sistema, sistema-humano e sistema humano. A ideia é automatizar total ou parcialmente várias funções de comunicação em toda a cadeia de suprimentos. No ciclo de vida do projeto de construção as interfaces da internet das coisas são padronizadas, em que particularmente o mecanismo de assinatura *Open-Messaging Interface* (O-MI) e suas variantes. Estes são uma oportunidade de manter a consistência do fluxo de informações nos sistemas de gerenciamento da

Lean Construction em relação aos eventos reais que ocorrem no campo e o progresso real da tarefa.

Para explorar as conexões entre gerenciamento visual em *Lean Construction* e sistemas de tecnologia da informação (TI) emergentes. Tezel e Aziz [14] identificam oportunidades nas quais os sistemas de TI emergentes adicionam os recursos de reconhecimento de contexto, mobilidade, dinamismo e feedback instantâneo aos sistemas, ferramentas e práticas de *Lean Construction* convencionais do gerenciamento visual.

O desenvolvimento de um aplicativo baseado em BIM e realidade aumentada (AR) combinado com práticas de *Lean Construction*, apresenta uma solução capaz de detectar desvios de agendamento visualizando o progresso da construção em realidade aumentada e fornecer dados diários de progresso e desempenho das obras, bem como informações/documentos específicos do contexto sobre tarefas agendadas [15].

Enquanto que Reinbold *et al* [16] preconizam a integração de dados de posicionamento interno coletados automaticamente de recursos de construção com modelos BIM como ferramenta de gerenciamento visual para aumentar a conscientização situacional em projetos de construção.

A tabela 1 associa os artigos citados aos principios Lean a que estão relacionados.

Tabela 1
Artigos selecionados com enfoque teórico-conceitual – BIM x LEAN.

Autores	Valor	Fluxo de valor	Cadeia de valor	Puxar	Melhoria contínua
Sacks *et al* [10]			X		
Dave e Koskela [11]		X			
Dave *et al* [12]	X				
Dave *et al* [13]				X	
Tezel e Aziz [14]	X				
Ratajczak *et al* [15]					X
Reinbold *et al* [16]		X			

Os artigos selecionados destacam de diferentes maneiras o potencial sinérgico entre Bim e *Lean* voltados para a fase de construção. Os artigos também servem como base para concretizar estas iterações em estudos de caso.

3.2. Estudos de caso

Para analisar as funcionalidades BIM e os princípios *Lean* utilizados em cada estudo, bem como o entendimento necessário dos gestores das interações positivas na prática o quadro 1 sistematiza quais práticas BIM foram utilizadas baseadas nos aspectos de interesse de concentração do foco de cada pesquisa e com isso quais principios *Lean* foram alcançados.

Quadro 1
Artigos selecionados e práticas abordadas.

	PRÁTICAS UTILIZADAS	LEAN								
		Reduz a variabilidade	Reduz os tempos de ciclo	Reduz desperdicios	Aumenta a flexibilidade	Utiliza sistema puxado	Padronização	Melhoria continua	Gerenciamento visual	Geração de valor
BIM	Visualização da forma	[20][26][27][28]								[19][20][26][27][28]
	Análise preditiva de desempenho	[17][18][27][29]	[17][18][23][25][27]						[25]	[18][7][27][29]
	Manutenção da integridade da informação	[17][18][20][24][26][28][29]	[17][18][23][24][28]	[17][18][20][22][23][28][29]						[18][7][26][28][29]
	Geração automatizada de documentos		[19][21]					[19][21][29]		
	Colaboração em design e construção		[17][18][19][23][24][25][28]	[17][18][23][27][28][29]	[22]	[17][18][19][21][7][26][29]				[18][19][21][7][26][28][29]
	Geração automatizada de tarefas de construção	[17][18]	[17][18][19]				[17][19]			[18]
	Visualizações do status do processo		[17][18][19]			[17][18][19][29]			[17][18][19][7][27][29]	[18][19][7][27][29]
	Comunicação de informações (online/offline)					[17][18][29]	[17][19][20][23][27][29]	[17][18][19][7][22][23][24][26][27][28][29]	[17][18][19][7][22][23][24][26][27][28][29]	[18][7][27][28][29]

A partir da sumarização dos resultados e das práticas utilizadas identificadas, no Quadro 1, traz a reflexão que as diferentes forma das práticas Lean x BIM se relacionarem é que propiciam a Engenharia do Conhecimento. Observa-se o elevado grau de sobreposição das aplicações e ficam evidentes melhorias na comunicação, tomada de decisão, fluxo de informação, integração dos dados, redução de desperdícios e fluxo de trabalho o que resulta no aumento de valor agregado. Assim como que conhecimento absorver a partir do exemplo: a redução da variabilidade alcançada pela possibilidade de visualização do modelo, análise de alternativas de projeto, detecção de interferências, redução de retrabalho, entre outras.

Dessa forma o desenvolvimento de Tecnologias da Informação e Comunicação aderentes a sinergia propiciam a geração de conhecimento explícito que poderá apoiar as tomadas de decisões futuras adjacentes, que é entendido como engenharia do conhecimento. Esta perspectiva esta alinhada aos conceitos e práticas discutidos e apoiados em sistemas criados para armazenar as boas práticas de gestão da informação.

4. Discussão

No cenário tradicional do canteiro de obras em que ocorrem perdas resultantes da falta de informações, integração e colaboração com a equipe de projeto, somadas à visão tradicional do processo, o conhecimento esta fragmentado e é adquirido de diferentes fontes, em que cada peça fornece informações limitadas e não o quadro completo. Com isso não se consegue obter e processar esse conhecimento fragmentado, impossibilitando a engenharia do conhecimento.

Porém ao expor a viabilidade do relacionamento entre BIM e *Lean Construction* na análise dos artigos sugere-se que a adoção conjunta seja classificada como um processo da engenharia do conhecimento. A classificação é possivel pois o resultado advindo da revisão de literatura mostra que as ferramentas propostas fornecem um meio eficiente para o fluxo de informação, e as informações podem ser usadas para avaliar e visualizar os fluxos de projetos de construção, melhorando o processo de tomada de decisão nos níveis operacional, tático e estratégico.

Dessa forma o ambiente de gestão em canteiro de obras consegue alcançar o nível de tomada de decisão e ser considerada engenharia do conhecimento, em que a informação é alimentada pela própria engenharia (leia criação) que envolve o ciclo de teoria, técnica e tecnologia e pela informação advinda de dados e conhecimento pessoal de cada indivíduo para que transformem os dados em informação, conforme exibido na figura 2. Sendo este ciclo sustentado pelo entendimento de que a engenharia da informação e do conhecimento é aplicada a processos gerenciais e a utilização de ferramentas para tomadas de decisão baseadas em um planejamento estratégico e de inteligência competitiva no ambiente empresarial [6].

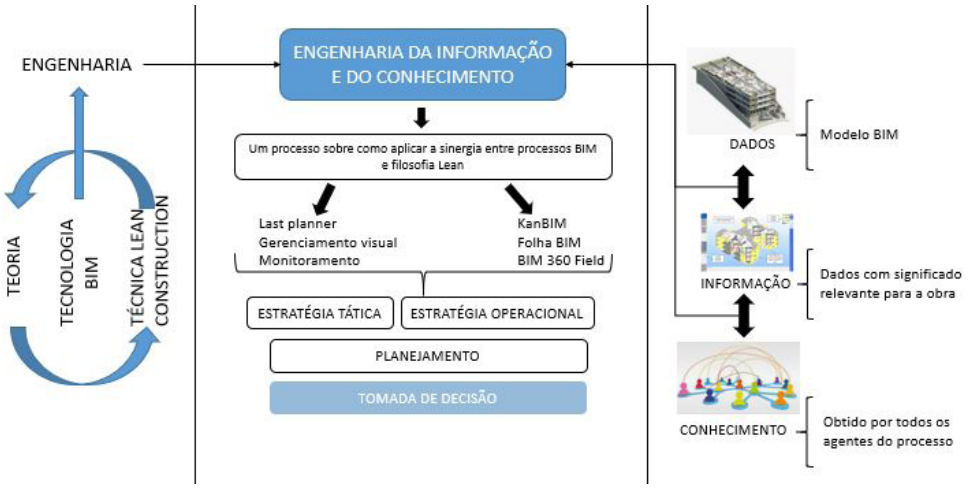


Figura 2
Releitura engenharia da informação e do conhecimento.

A evolução para engenharia do conhecimento requer a sistematização dos saberes das equipes a partir das lições aprendidas e transmitidas para outros empreendimentos, de modo, a evitar a repetição dos erros e aumentar a assertividade das decisões gerenciais [3]. Com isso o conhecimento é apresentado e construido à medida que o sistema responde às necessidades do usuário e permite a compreensão

conectada ao tópico, fazendo com que a engenharia do conhecimento seja entendida como a aquisição, formalização e refinamento do conhecimento.

Assim qualquer organização/projeto na indústria da construção em uma jornada *Lean* deve considerar o uso do BIM para melhorar seus resultados e ao mesmo tempo empresas utilizando BIM devem garantir que seu processo de adoção está contribuindo ao máximo para deixar seus processos *Lean* [9]. A partir disso os processos tradicionais são alterados para se enquadrarem nos processos novos que foram desenvolvidos baseados nos princípios da *Lean Construction* que diminuem desperdícios e aumentam a geração de valor [3].

Ainda que este cenário colabore para a geração de novos mecanismos de comunicação e compartilhamento de informações os ganhos proporcionados pela utilização do BIM e da *Lean* em conjunto somente são possíveis quando há uma estrutura em que pessoas, processos e sistemas de informação se apoiam, assim como na engenharia do conhecimento. Logo, é preciso a colaboração e adoção das novas práticas por todos os envolvidos no processo para que se tenha uma implementação bem-sucedida das duas abordagens, para alcançar o nível da engenharia do conhecimento. Essa colaboração se torna um ponto de atenção ja que os artigos estudados relatam como dificuldade encontrada a resistência à mudança pelos profissionais nos canteiros de obras.

5. Conclusão

Para facilitar os processos de criação, organização, formalização, compartilhamento, aplicação e refinamento de conhecimento sugere-se que integração entre a *Lean Construction* e o BIM seja implementada a através de uma plataforma, num passo a passo contínuo, para que em seguida essa se estabeleça como uma estratégia de implantação da engenharia do conhecimento. Utiliza-se a abordagem computacional para transformar conteúdo informacional em conhecimento estruturado, obtendo assim sistemas robustos que armazenam as informações e otimizam a tomada de decisão do gestor principal. Esta afirmação é sustentada pelo alinhamento bem-sucedido entre a *Lean Construction* e o BIM que contribuem para a melhoria do gerenciamento sendo facilitado por uma plataforma para a troca de informações relacionadas a produtos, processos e recursos, promovendo a cooperação e o fluxo de informação entre os envolvidos verificados no rol de artigos selecionados.

Referências

[1] Sacks, R.; Eastman, C.; Lee, G.; Teicholz, P. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 3ed. Tradução de Ayres Filho, C. Bookman, Porto Alegre, 2021.

[2] Rezek , T. H. .; Freitas, M. do C. D.; Scheer, S. Adoção de BIM e Lean Construction: um processo para implantação da Engenharia do Conhecimento. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, 3., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021, pp. 1-10. DOI: 10.46421/sbtic.v3i00.560. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/560. Acesso em: 19 dez. 2021.

[3] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1ed. Tradução de Ayres Filho, C. Bookman, Porto Alegre, 2014.

[4] Nascimento, D. L. M.; Sotelino, E. D.; Caiado, R. G. G.; Ivson, P.; Faria, P. S. Sinergia entre Principios do Lean Thinking e Funcionalidade de BIM na Interdisciplinaridade de Gestão em Plantas Industriais. Journal of lean systems, v. 2, n. 4, pp. 83-109, 2017.

[5] Teixeira, A. V.; Freitas, M. C. D.; Laurindo, A. M. Engineering Information: Conceptual Elements Related Information Management and Information Systems. EDULEARN, 14., 2014. Proceedings, pp. 6909-6915.

[6] Freitas, M. C. D; Odorczyk, R. S.; Mendes Jr. R.; Frederico, G. F.; Córdova, F.; Duran, C. Theoretical aspects of the information and knowledge engineering. 2016, Proceedings of IEEE-ICCCC2016, 6th International Conference on Computers Communications and Control, 2016.

[7] Matthews, J.; Love, P. E.d.; Heinemann, S.; Chandler, R.; Rumsey, C.; Olatunj, O. Real time progress management: Reengineering processes for cloud-based BIM in construction. Automation in Construction, v.58, pp. 38-47, jul. 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.004

[8] Koskela, L. Application of the New Production Philosophy to Construction Technical Report, 1992.

[9] Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. Journal of construction engineering and management, 136(9), 968-980.

[10] Sacks, R.; Radosavljevic, M.; Barak, R. Requirements for Building Information Modeling based Lean Production Management Systems for construction. Automation in Construction, v. 19, n. 5, pp. 641-655, 2010.

[11] Dave, B.; Koskela, L. J. VisiLean: Designing a production management system with lean and BIM. 19nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2011 p., 2011.

[12] Dave, B.; Kubler, S.; Främling, K.; Koskela, L. Addressing information flow in lean production management and control in construction. 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014, pp. 581-592, 2014.

[13] Dave, B.; Kubler, S.; Framling, K.; Koskela, L. Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards. Automation in Construction, v.61, pp. 86-97, 2016.

[14] Tezel, A.; Aziz, Z. From conventional to it based visual management: A conceptual discussion for lean construction. Journal of Information Technology in Construction, v. 22, pp. 220-246, 2017.

[15] Ratajczak, J.; Riedl, M.; Matt, D. T. BIM-based and AR application combined with location-based management system for the improvement of the construction performance. Buildings, v. 9, n. 5, 2019.

[16] Reinbold, A.; Seppänen, O.; Peltokorpi, A.; Singh, V.; Dror, E. Integrating indoor positioning systems and BIM to improve situational awareness. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019, pp. 1141-1150, 2019.

[17] Sacks, R.; Barak, R.; Belaciano, B.; Gurevich, U.; Pikas, E. Field tests of the KanBIM lean production management system. Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2011, IGLC 2011, pp. 465-476, 2011.

[18] Sacks, R.; Barak, R.; Belaciano, B.; Gurevich, U.; Pikas, E. KanBIM workflow management system: Prototype implementation and field testing. Lean Construction Journal, v. 2013, n. 2012, pp. 19-35, 2013.

[19] Gurevich, U.; Sacks, R. Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors' task selections in interior works. Automation in Construction, v. 37, pp. 81-87, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.003.

[20] Laine, E.; Alhava, O.; Kiviniemi, A. Improving Built-In Quality by BIM Based Visual Management Building Information Modeling (BIM) and Lean. IGLC 2014 Proceedings of the 22th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 945-956, 2014.

[21] Mahalingam, A.; Yadav, A. K.; Varaprasad, J. Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases. Journal of Construction Engineering and Management (2015) 141(7), v. 141, n. 7, pp. 1-11, 2015.

[22] Ibarra, J. V.; Formoso, C. T.; Lima, C.; Mourão, A.; Saggin, A. Model for integrated production and quality control: Implementation and testing using commercial

software applications. IGLC 2016 – Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 73-82, 2016.

[23] Giovanny, O.; Alberto, S. J.; Yerson, G. H. P. BrIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges Modelos BrIM 5D y Lean Construction para planificar actividades de. Revista Faculdad de Ingeniaría, v. 26, n. 46, pp. 39-50, 2017

[24] Matta, G.; Herrera, R. F.; Baladrón, C.; Giménez, Z.; Alarcón, L. F. Using BIM-Based sheets as a visual management tool for on-site instructions: A case study. IGLC 2018 – Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers, v. 1, pp. 144-154, 2018.

[25] Vrijhoef, R.; Dijkstra, J. T.; Koutamanis, A. Modelling and simulating time use of site workers with 4d BIM. IGLC 2018 – Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers, v. 1, pp. 155-165, 2018.

[26] Koseoglu, O.; Nurtan-Gunes, E. T. Mobile BIM implementation and lean interaction on construction site: A case study of a complex airport project. Engineering, Construction and Architectural Management, v. 25, n. 10, pp. 1298-1321, 2018.

[27] Álvares, J. S.; Costa, D. B. Construction progress monitoring using unmanned aerial system and 4D BIM. Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019, pp. 1445-1456, 2019.

[28] Demir, S.; Von Heyl, J.; Demir, S. Digitizing Lean Construction With Building Information Modeling. Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), pp. 843-852, 2019. DOI: http://iglc.net/Papers/Details/1725.

[29] Boton, C.; Pitti, Y.; Forgues, D.; Iordanova, I. Investigating the challenges related to combining BIM and Last Planner System on construction sites. Frontiers of Engineering Management, 2020.

Parte III – Especialidades e Infraestruturas

Desafios de interoperabilidade entre BIM e BEM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.22

Jairo B. Picott[1], **Lucas Vieira**[2],
Mário Coelho[3], **José Granja**[4], **José C. Matos**[5], **Miguel Azenha**[6]

[1] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0002-7943-7584*

[2] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0003-1157-1362*

[3] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0002-6356-6963*

[4] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0002-0858-4990*

[5] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0002-1536-2149*

[6] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, ORCID: 0000-0003-1374-9427*

Resumo

O intercâmbio de informações entre os domínios *Building Information Modelling* (BIM) e *Building Energy Modelling* (BEM) deveria idealmente ocorrer de forma rápida, precisa e consistente. No entanto, a conversão de modelos BIM para BEM ainda se realiza com limitações, como por exemplo a perda e distorção de informações geométricas e alfanuméricas. Tal processo, além de não contar com normalização específica, requer o uso de ferramentas digitais intermediárias e intervenções manuais morosas, repetitivas e sujeitas a erros. Face ao exposto, este trabalho apresenta uma proposta metodológica, denominada BIEM (*Building Information Energy Modelling*), que permite a conversão da informação armazenada nos modelos BIM para a elaboração de modelos energéticos de maneira automatizada, com o objetivo de reduzir tempos de modelação, uso de plataformas intermediárias, custos e potenciais erros oriundos de ajustes manuais. Como resultado, foram desenvolvidas duas soluções digitais com abordagens distintas. A primeira utiliza modelos no formato *OpenBIM* IFC (Industry Foundation Classes), e a segunda, utiliza modelos nativos da plataforma proprietária *Revit*® 2020. Ambas as soluções fazem uso do motor de código aberto *EnergyPlus*® 9.5 para criar e executar as simulações energéticas. No final do artigo, são comparadas as duas soluções e efetuada a validação face ao método tradicional de conversão e análise feito de forma manual.

1. Introdução

A eficiência e conservação energética na indústria da Arquitetura, Engenharia e a Construção (AEC) representa uma preocupação global, dado que o setor é o maior consumidor de energia no mundo [1]. Adicionalmente, a operação de um edifício consome entre o 80% e 90% da energia empregue no seu ciclo de vida, o que assinala a necessidade de ter edifícios mais sustentáveis e eficientes no âmbito da sua utilização [2]. A preparação de modelos de simulação permite a previsão do comportamento energético dos edifícios através de ferramentas digitais BEM (*Building Energy Modelling*) [1] e requerem, na sua conceção, informações parametrizadas essenciais para a execução das análises energéticas pretendidas, tais como a geometria do edifício/construção, materiais e suas propriedades térmicas, informação climática, tipo de uso das zonas térmicas, ganhos térmicos, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), e condições exteriores, entre outras [2].

O processo de análise depende de motores de simulação que utilizam modelos matemáticos para representar a geometria dos edifícios, associada a parâmetros físicos e térmicos, servindo-se dessa informação para calcular os comportamentos energéticos [3]. Alguns exemplos de motores de simulação energética comumente adotados pela indústria AEC são evidenciados de seguida. Com licenças de código aberto podem identificar-se o DOE-2® desenvolvido por *James J. Hirsch & Associates* (JJH) em colaboração com *Laurance Berkeley National Laboratory* [4] e o EnergyPlus® desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* [5]. Estes software permitem a redistribuição, partilha, modificação, e o estudo do seu código fonte, através de licenças de tipo *3-clause BSD licence* [6], o que promove a colaboração entre usuários [7–9]. Com licença paga refere-se aqui o IES-VE® desenvolvido por *Integrated Environmental Solutions Limited* [10].

Os modelos BIM permitem guardar e gerir informações geométricas e não geométricas das edificações. Além disso, possibilitam a colaboração interdisciplinar baseada na partilha de dados durante todas as fases do ciclo de vida de um determinado empreendimento, incluindo os requeridos para as análises energéticas. *Industry Foundation Classes* (IFC), desenvolvido por BuildingSmart, e Green Building *XML* (gbXML) desenvolvido por Green Building [1,2,11,12], são dois dos mais importantes modelos de dados para troca de informação, respetivamente para BIM e BEM. O IFC consiste num esquema de dados de caráter aberto, consolidado como o formato padrão para a interoperabilidade entre diferentes plataformas [3]. Este tem uma estrutura hierarquizada que permite a representação de diferentes elementos das construções como objetos, dotados de propriedades e relações com outros objetos/entidades. O gbXML, por sua vez, opera no campo da simulação energética, e é utilizado pela sua capacidade de representar informações úteis para análises de eficiência energética das edificações, bem como de impacto ambiental [11,13,14].

A revisão da bibliografia realizada permitiu a identificação de estudos existentes que oferecem soluções para tornar a interoperabilidade de BIM para BEM mais eficiente e automatizada. Alguns exemplos relevantes incluem: i) metodologias para análises energéticas baseadas em BIM [8,15–17]; ii) abordagem BIM para BEM aplicada à administração pública e renovação de escolas [18]; iii) modelo preditivo para a recalibração contínua de modelo BEM, utilizando informações BIM [2]; iv) ferramenta para a integração de modelos BIM e meta-modelos para a predição de ganhos térmicos em habitações a través de gbXML [19]; v) Revit® *add-in* para a análise preditiva de conforto térmico e consumo energético[20]; vi) metodologia integrada que conecta BIM e ferramentas de análise energética com o sistema de certificação de edificações verdes LEED® [12]; vii) OpenStudio® *add-ins* para o aproveitamento dos esquemas de dados BIM no contexto das análises energéticas [7,9]; viii) deteção de espaços com riscos potenciais de consumo energético elevado, desconforto humano e sobrecarga de sistemas [21]; ix) verificador de modelos BIM no formato IFC para a geração de zonas térmicas [22]; x) metodologia para a extração automática de informações de design de modelos baseados em BIM para analisar a sua relação semântica com dados colecionados de regulamentações energéticas [23].

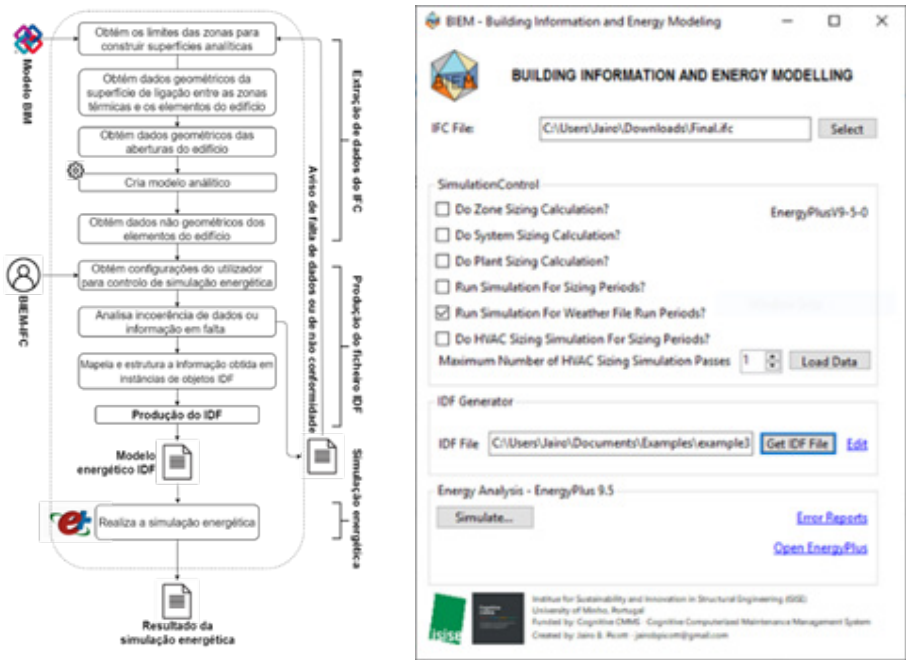
Os diferentes enquadramentos, metodologias e otimizações apresentadas procuraram, sob diferentes perspetivas, tornar mais eficiente a interoperabilidade BIM-BEM. No entanto, os fluxos de trabalho para conversão de modelos BIM para BEM ainda dependem de intervenções manuais ou semiautomáticas, morosas, repetitivas e sujeitas a erros, além de requererem diferentes plataformas intermediárias [1,3,9,13,24] que exigem mapeamentos e traduções entre modelos de dados de dados distintos, muitas vezes não normalizados [25]. Estas limitações de interoperabilidade podem levar a perda ou distorção de informações. Portanto, ainda há lacunas de conhecimento no que diz respeito à conversão automática e eficiente de modelos BIM para BEM. Adicionalmente, grande parte das ferramentas intermediárias referidas tem caráter proprietário e dessa forma, não partilham os seus códigos fonte livremente à restante comunidade técnico-científica [8,9,15–17,21,22,24,26].

Em resposta ao contexto apresentado, este artigo propõe um enquadramento que possibilita um fluxo de informação unidirecional no processo de interoperabilidade para a constituição de modelos BEM a partir de modelos BIM de forma precisa e automática, sem ferramentas intermediárias, suprimindo a necessidade de intervenções manuais para adequar a informação a passos subsequentes. Denominado *Building Information Energy Modelling* (BIEM), o enquadramento proposto está dividido em duas abordagens. A primeira, denominada abordagem de caráter aberto ou BIEM-IFC, estrutura-se a partir de modelos *openBIM* IFC. A segunda, denominada abordagem de caráter semiaberto ou BIEM-Revit, processa modelos no formato nativo da ferramenta de modelação Autodesk Revit® 2020, funcionando como um *add-in* da referida plataforma. A execução das simulações energéticas em ambas abordagens faz uso do motor de código aberto EnergyPlus®.

2. Metodologia

2.1. Fluxo de trabalho BIEM-IFC

Através da linguagem de programação C#, o fluxo de trabalho da abordagem BIEM-IFC ilustrado na Figura 1(a), converte de forma direta e automática modelos IFC para modelos energéticos na estrutura de dados nativa do EnergyPlus®, o IDF. Isto é realizado sem a necessidade de conversões para formatos utilizados por plataformas intermediárias como o gbXML. Inicialmente, o modelo BIM é criado numa ferramenta de modelação e exportado para IFC. Através da biblioteca xBIM [27], a aplicação BIEM-IFC desenvolvida extrai do ficheiro IFC as informações geométricas e não geométricas relevantes para a análise energética. Em seguida, por meio da sua interface gráfica (Figura 1(b)), a ferramenta desenvolvida permite a definição dos parâmetros de simulação e a seleção do ficheiro de dados climáticos pelo utilizador. A plataforma retém as referidas definições e faz uso de regras semânticas estabelecidas em código para criar o ficheiro IDF [28]. BIEM-IFC aciona internamente o motor EnergyPlus® e executa a simulação energética, permitindo a visualização dos resultados no fim. O processo, a partir deste instante, passa a ocorrer em background no EnergyPlus®, sendo o utilizador informado de qualquer interação que possa ser necessária. Em particular, quando as informações não cumprem os requisitos mínimos para realizar a análise energética, a ferramenta alerta o usuário. Nesse instante, o usuário pode rever o ficheiro IDF ou seguir com a execução utilizando uma configuração por defeito dos parâmetros que estejam em falta.



(a) (b)

Figura 1
BIEM-IFC: (a) Fluxo de trabalho da abordagem de caráter aberto; (b) Interface gráfica do utilizador.

2.2. Fluxo de trabalho BIEM-Revit

A abordagem BIEM-Revit, semiaberta, compreende uma solução digital na forma de um *add-in* para a ferramenta proprietária de modelação Revit® 2020. Através da linguagem de programação Python e da API da referida ferramenta de modelação, o fluxo de trabalho BIEM-Revit, representado na Figura 2, converte de forma direta e automática modelos BIM em formato proprietário do Revit® 2020 para modelos energéticos na estrutura de dados nativa do EnergyPlus®, o IDF. Isto é também efetuado sem a necessidade de conversões para formatos utilizados por plataformas intermediárias. O processo inicia-se com a criação do modelo BIM no ambiente da ferramenta de modelação. Em seguida, ao ser executado, BIEM-Revit identifica os parâmetros de simulação definidos pelo utilizador para da análise energética e, através da API da plataforma de modelação [29], é produzido um modelo analítico do edifício, organizando as informações necessárias para a simulação (geométricas e não-geométricas) em categorias nativas de objetos: zonas térmicas, superfícies e aberturas analíticas. Os dados obtidos são mapeados, e baseado nas regras semânticas do formato IDF [28], o *add-in* produz o modelo energético em IDF final que será utilizado na análise executada pelo motor EnergyPlus®. Embora o BIEM-Revit crie de forma automática o modelo BEM, diferentemente do BIEM-IFC, ainda não tem a capacidade de executar nem rever os resultados da análise energética e depende da interface gráfica do EnergyPlus® EP-Launch.[30] para essa finalidade.

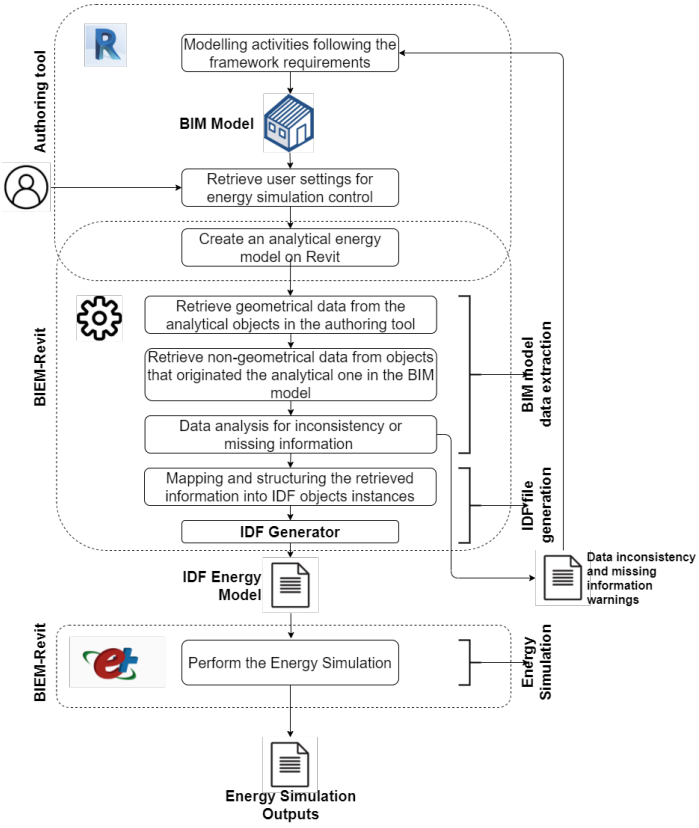


Figura 2
BIEM-Revit: Fluxo de trabalho da abordagem de caráter semiaberto.

2.3. Mapeamento de dados

Os modelos BIM contêm informação necessária e suficiente para a construção de modelos BEM que cumpram com as normalizações energéticas internacionais [23]. Posto isto, um dos processos primordiais no desenvolvimento de soluções para a transposição de BIM para BEM, é o mapeamento dos dados dos modelos baseados em BIM e a sua conversão para o modelo de dados energéticos IDF, nativo do EnergyPlus®. Para ilustrar como a informação é traduzida nas duas abordagens do enquadramento proposto, foi utilizado o exemplo de uma parede.

BIEM-IFC faz uso da entidade IFC *IfcRelSpaceBoundary* para coletar dados da parede, da zona térmica e da geometria da superfície de contato entre a parede e a zona. Quando esta superfície de contato com a zona térmica é definida na face interior da parede, BIEM-IFC ajusta a posição da geometria para estabelecer uma superfície analítica que corresponda ao eixo central da parede original. A Figura 3 ilustra graficamente o mapeamento de IFC para IDF.

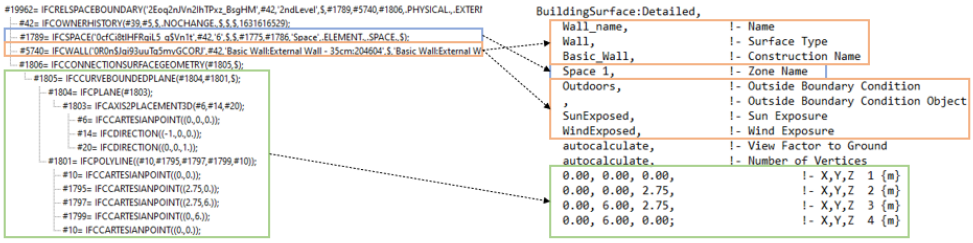


Figura 3
Mapeamento de dados: de IFC para IDP.

No caso de BIEM-Revit, uma vez criado o modelo analítico pelo código através da *API* da plataforma de modelação, os dados da superfície analítica são armazenados numa variável, que depois é utilizada para fornecer as informações necessárias para representar a parede no formato IDF, conforme ilustrado na Figura 4.

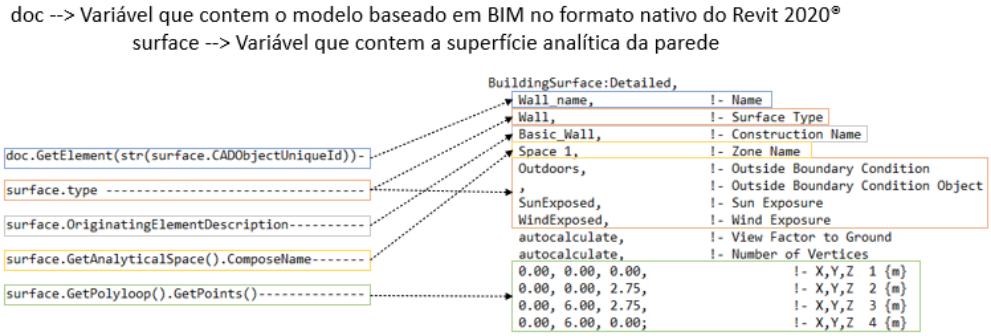
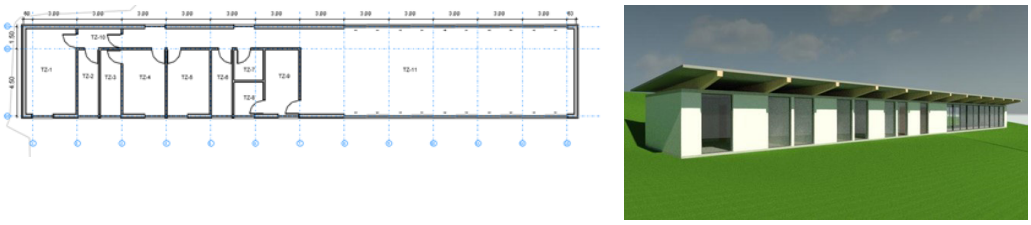


Figura 4
Mapeamento de dados: modelo nativo Revit para IDP.

3. Caso de estudo para validação das ferramentas digitais propostas

O estudo de caso implementado consistiu numa hipotética moradia térrea, unifamiliar, hipoteticamente localizada na cidade do Porto, com área total de 236.5 m^2, pé-direito interno de 2.6 m e onze zonas térmicas (ambientes). A Figura 5 apresenta a planta e uma perspetiva 3D da moradia.



(a) (b)

Figura 5
Casa de estudo: (a) planta; (b) perspetiva 3D.

As condições climáticas da localização da moradia foram obtidas a partir da estacão climatológica mais próxima, identificada pelo número 085450. Assim, a temperatura exterior, dados dos ganhos solares, velocidade do ar, direção do ar e os registos de precipitação histórica podem ser utilizados pelo motor EnergyPlus® para a execução da simulação energética dentro de um período de tempo, o qual pode ser definido pelo usuário nos parâmetros da simulação.

3.1. Avaliação da interoperabilidade

As duas abordagens, demostraram a capacidade de traduzir as informações de modelos BIM para o modelo de dados energéticos nativo do EnergyPlus®, o IDF, de maneira automática, rápida e precisa. Os dois modelos IDF finais produzidos pelo BIEM-IFC e BIEM-Revit foram comparados com o um modelo BEM de referência, também em IDF, criado manualmente pela abordagem tradicional. A comparação permitiu confirmar que o número de instâncias das diferentes classes de objetos do EnergyPlus®, mapeadas e produzidas através das informações obtidas dos modelos BIM, como *Material, WindowMaterial:SimpleGlazingSystem, Construction, Zone, BuildingSurface:Detailed* e *FenestrationSurface:Detailed*, foi o mesmo. A confirmação da geometria analítica nos modelos IDF, gerados a partir da simplificação dos elementos da moradia, não revelou nenhuma diferença geométrica. No entanto, especificamente na abordagem BIEM-IFC, foram encontradas algumas limitações relativas às propriedades térmicas dos materiais associados aos elementos construtivos. Estas foram devidas à ferramenta de exportação IFC da plataforma de modelação utilizada (Revit® 2020).

Os ficheiros IFC obtidos do Revit® 2020 não contêm dados térmicos individuais dos materiais aplicados a cada uma das camadas internas que compõem os elementos compostos do edifício. Em vez disso, a plataforma de modelação exporta as propriedades térmicas do sistema de camadas como um todo para estes elementos.

Sendo assim, foi preciso explorar outras plataformas de modelação BIM e as suas ferramentas de exportação IFC para se obter a informação necessária para a análise energética com o motor EnergyPlus®. Nesse contexto, o software de modelação Archicad® 24 demonstrou-se mais eficiente no processo de exportação, uma vez que o seu tradutor IFC, possibilitou customizar a exportação para conseguir as informações necessárias. Dessa forma, o ficheiro IFC obtido do Revit® 2020 foi importado no ambiente Archicad® 24 e exportado novamente em IFC, para se conseguir os dados necessários à abordagem BIEM-IFC. Salienta-se que, no contexto da metodologia apresentada no presente trabalho, o modelo BIM no formato IFC e um input necessário. No entanto, a forma como este e obtido e independente da metodologia, devendo apenas garantir que o modelo IFC contem toda a informação necessária.

4. Resultados

Utilizando o mesmo caso de estudo, foram executadas simulações energéticas para cada um dos ficheiros IDF gerados (BIEM-IFC, BIEM-Revit e modelo de referência), para prever a temperatura média mensal, em cada uma das zonas térmicas do edifício. Os resultados demostraram que os comportamentos da temperatura em todas as zonas da edificação foram similares. Para a simulação foram utilizados os dados climáticos coletados da estação climatológica referida na Secção 3, descarregados da base de dados do clima do EnergyPlus®, disponível online [31]. As simulações incorporaram, para cada zona, um sistema de admissão de ar e saída de retorno. Os ganhos térmicos foram definidos pelo mesmo cronograma de acesso de luz solar ao interior das diferentes zonas nos três modelos BEM. A simulação teve um período de análise de 365 dias. A Figura 6 apresenta a comparação das temperaturas médias mensais na zona número 1 e 11 (ver Figura 5 [a]), obtidas nas simulações para os três modelos energéticos. A temperatura média anual prevista no modelo de referência foi de 26.36°C. O resultado da mesma variável para a simulação com o modelo BEM produzido por BIEM-IFC e por BIEM-Revit foi de 26.83°.

A diferença encontrada nos resultados obtidos está relacionada com um aspeto específico. Na Figura 5 (b), é possível observar que a laje do teto, cuja função é definir a fronteira superior das zonas térmicas, está sob a sombra do telhado, que no caso da moradia em questão, não constitui superfície delimitadora de zona térmica, uma vez que o espaço entre a laje de cobertura e o telhado é aberto ao exterior. No processo de criação manual do modelo de referência, este aspeto foi considerado. Porém, BIEM-IFC e BIEM-Revit, ainda não têm a capacidade de identificar estas condições de sombreamento. Assim, nos modelos IDF produzidos nas duas abordagens, a laje encontra-se simulada como exposta ao sol, enquanto no modelo de referência não. Esta diferença resultou nas variações das temperaturas previstas nas simulações energéticas, e foi identificada com facilidade na zona térmica 11, devido à extensão em área ser a maior.

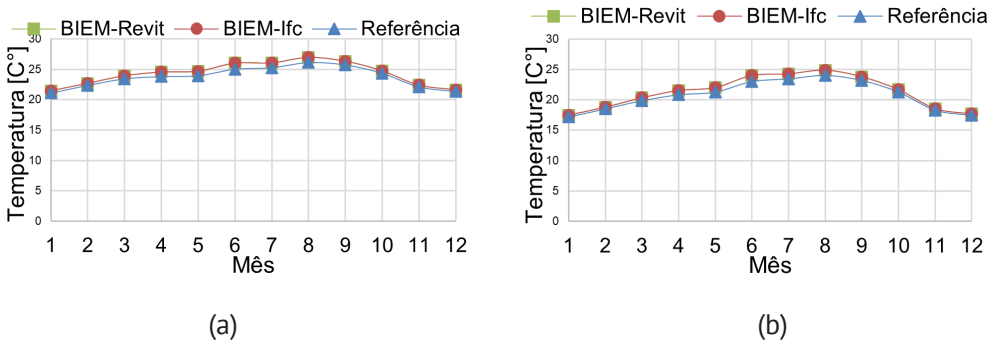


Figura 6
Temperatura média mensal na zona número: (a) 1; (b) 11.

5. Conclusões

Este artigo apresentou uma metodologia alternativa, materializada por duas abordagens distintas, para mitigar alguns dos desafios associados ao processo de interoperabilidade BIM para BEM, tornando-o mais automatizado. Foi possível tirar as seguintes conclusões:

- As duas abordagens, BIEM-IFC e BIEM-Revit, conseguiram produzir modelos BEM em formato IDF a partir de modelos BIM que permitiram simulações energéticas bem-sucedidas com o motor EnergyPlus®;
- As duas abordagens, BIEM-IFC e BIEM-Revit, conseguiram recriar a geometria da edificação satisfatoriamente. A conversão das superfícies da edificação em superfícies analíticas para a análise energética coincidiu exatamente com modelo de referência. No entanto, ainda é preciso validar o enquadramento com geometrias de maior complexidade;
- As duas abordagens, BIEM-IFC e BIEM-Revit, ainda apresentam limitações para identificar e representar no ficheiro IDF as condições de sombreamento nas superfícies da edificação, o que resultou numa pequena diferença de temperatura média identificada em relação ao modelo de referência. No futuro esta limitação será abordada com o objetivo de melhorar a precisão das simulações energéticas feitas com a metodologia BIEM;
- Duas plataformas distintas de modelação BIM (Revit® 2020 e Archicad® 24) e suas respetivas ferramentas de exportação IFC foram analisadas. O exportador IFC do Revit® 2020 não forneceu as informações requeridas para a análise energética, no que diz respeito às propriedades térmicas e físicas dos materiais que compõem os elementos da edificação compostos por camadas. O exportador IFC do Archicad® 24, por sua vez, não teve a mesma limitação, e permitiu exportar o ficheiro IFC conforme objetivo.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de P & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020. Agradece-se também o apoio financeiro providenciado pelo projeto *Cognitive* CMMS – *Cognitive*

Computerized Maintenance Management System (POCI-01-0247-FEDER-033574), financiado pelos programas COMPETE2020, Portugal2020 e FEDER. Por fim, agradece-se o apoio dado pelo programa *European Master em Building Information Modelling* (BIM A+).

Referências

[1] Z. Pezeshki, A. Soleimani, A. Darabi, Application of BEM and using BIM database for BEM: A review, J. Build. Eng. 23 (2019) 1-17. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.021.

[2] A. Chong, W. Xu, S. Chao, N.T. Ngo, Continuous-time Bayesian calibration of energy models using BIM and energy data, Energy Build. 194 (2019) 177-190. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.017.

[3] V. Pereira, J. Santos, F. Leite, P. Escórcio, Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review, Energy Build. 250 (2021). https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292.

[4] James J. Hirsch & Associates (JJH), Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), U.S. Department of Energy's (DOE), DOE-2, (1998).

[5] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Building Technologies Office (BTO), U.S. Department of Energy's (DOE), EnergyPlus, (2001).

[6] Opensource.org, Open Source Initiative, (2021). https://opensource.org/licenses.

[7] I.J. Ramaji, J.I. Messner, R.M. Leicht, Leveraging building information models in IFC to perform energy analysis in openstudio®, ASHRAE IBPSA-USA Build. Simul. Conf. (2016) 251-258.

[8] V. Dimitriou, S.K. Firth, T.M. Hassan, F. Fouchal, BIM enabled building energy modelling: development and verification of a GBXML to IDF conversion method, Ibpsa. (2016) 12-14. https://dspace.lboro.ac.uk/2134/22818.

[9] N. Yu, Information interoperability between Building Information Modeling authoring tools and simulation tools to support energy efficient building design, Pennsylvania State University, 2014.

[10] Integrated Environmental Solutions Limited, IES-VE, (n.d.). https://www.iesve.com/products/ve.

[11] E. Kamel, A.M. Memari, Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions, Autom. Constr. 97 (2019) 164-180. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008.

[12] F. Jalaei, A. Jrade, Integrating Building Information Modeling (BIM) and energy analysis tools with green building certification system to conceptually design sustainable buildings, J. Inf. Technol. Constr. 19 (2014) 494-519. https://doi.org/10.1007/s12273-013-0120-0.

[13] M. Bonomolo, S. Di Lisi, G. Leone, Building Information Modelling and Energy Simulation for Architecture Design, (2021). https://doi.org/10.3390/app11052252.

[14] E. El Asmi, S. Robert, B. Haas, K. Zreik, A standardized approach to BIM and energy simulation connection, 22 (2015).

[15] M. Sušnik, L.C. Tagliabue, M. Cairoli, BIM-based energy and acoustic analysis through CVE tools, Energy Reports. 7 (2021) 8228-8237. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.06.013.

[16] E.I. Samuel, E. Joseph-Akwara, A. Richard, Assessment of energy utilization and leakages in buildings with building information model energy, Front. Archit. Res. 6 (2017) 29-41. https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.01.002.

[17] V. Bazjanac, Interoperability for Building Energy Performance Simulation – OGC AECOO-1 Testbed, Int. BIM Act. 7 (2009) 39-42.

[18] L.C. Tagliabue, S. Maltese, F. Re Cecconi, A.L.C. Ciribini, E. De Angelis, BIM-based interoperable workflow for energy improvement of school buildings over the life cycle, in: ISARC 2018 – 35th Int. Symp. Autom. Robot. Constr. Int. AEC/FM Hackathon Futur. Build. Things, 2018. https://doi.org/10.22260/isarc2018/0058.

[19] M.K. Bracht, A.P. Melo, R. Lamberts, A metamodel for building information modeling-building energy modeling integration in early design stage, Autom. Constr. 121 (2021) 103422. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103422.

[20] G. Ma, Y. Liu, S. Shang, A building information model (BIM) and artificial neural network (ANN) based system for personal thermal comfort evaluation and energy efficient design of interior space, Sustain. 11 (2019). https://doi.org/10.3390/su11184972.

[21] F. Shalabi, Y. Turkan, BIM-Energy simulation approach for detecting building spaces with faults and problematic behavior, 25 (2020) 342-360. https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.020.

[22] P. Sanguinetti, C. Eastman, Automated Energy Performance Visualization for BIM, in: Build. Inf. Model., 2015: pp. 119-128. https://doi.org/10.1002/9781119174752.ch9.

[23] P. Zhou, N. El-Gohary, Automated matching of design information in BIM to regulatory information in energy codes, Constr. Res. Congr. 2018 Constr. Inf.

Technol. – Sel. Pap. from Constr. Res. Congr. 2018. 2018-April (2018) 75-85. https://doi.org/10.1061/9780784481264.008.

[24] B.-J. He, A. Mahdiyar, M.H. Elnabawi, Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results, Front. Built Environ. | Www.Frontiersin.Org. 6 (2020) 573971. https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.573971.

[25] G. Bastos Porsani, K. Del Valle de Lersundi, A. Sánchez-Ostiz Gutiérrez, C. Fernández Bandera, Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM), Appl. Sci. 11 (2021) 2167. https://doi.org/10.3390/app11052167.

[26] J. H. Woo, C. Diggelman, B. Abushakra, BIM-based energy monitoring with XML parsing engine, Proc. 28th Int. Symp. Autom. Robot. Constr. ISARC 2011. (2011) 544-545. https://doi.org/10.22260/isarc2011/0098.

[27] S. Lockley, C. Benghi, M. Černý, Xbim.Essentials: a library for interoperable building information applications, J. Open Source Softw. 2 (2017) 473. https://doi.org/10.21105/joss.00473.

[28] U.S. Department of Energy's (DOE), Input Output Reference, 2021.

[29] Autodesk, Revit API 2020, (2020). https://www.revitapidocs.com/2020/.

[30] U.S. Department of Energy's (DOE), Building Technologies Office (BTO), National Renewable Energy Laboratory (NREL), EP-Launch Program, (2021). https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-5/getting-started/ep-launch-program.html.

[31] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Building Technologies Office (BTO), U.S.D. of E. (DOE), Weather Data, (2021). https://energyplus.net/weather.

Making BIM tangible: Our experience within a challenging project

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.23

Alexandre Marques[1], **Ana Rei**[2], **Alejandro Romero**[3], **Hélder Pereira**[4]

[1] *Hilti Portugal, Porto*

[2] *Hilti Portugal, Porto*

[3] *Hilti Nederland B.V., Rotterdam*

[4] *Grupo Ramos Ferreira Engenharia, Porto*

Abstract

With the growing adoption of the BIM methodology by the AEC (Architecture, Engineering and Construction) Industry, Hilti, as a company strongly connected to innovation, has cemented collaboration with reference companies and participation in relevant projects worldwide.

One of these partnerships is with Grupo Ramos Ferreira, a company with great experience in the design and execution of special installations. Ramos Ferreira and Hilti are collaborating in the construction of the Odense Hospital in a BIM environment, in this project that will be the largest hospital in the South of Denmark, with an investment value of around 600 Million Euros.

The current paper aims to describe the collaboration between Hilti and Ramos Ferreira, particularly in the definition of the support structure of the Mechanical and Hydraulic trades. Thus, the collaboration process in a complex context is described, as well as the design according to Eurocodes and a local Standard (DS 428-2019), the project optimization, phasing and coordination with logistics and the creation of Shop Drawings and the corresponding impact on the assembly of structures.

Finally, a self-evaluation of the work developed is carried out, namely with the identification of the main challenges, benefits in the design and construction phase and next steps in order to improve productivity and security on the jobsite.

1. Project Framework

1.1. Hilti BIM Design Services

Hilti aims to make construction work simpler, faster and safer, with products, systems, software and services that provide clear added value. Hilti's brand stands for quality, innovation and direct customer relationships. This mindset drives the company to invest approximately 6 percent of annual sales into research and development [1].

One example of Services provided by Hilti is related to BIM. BIM is used to plan pipes, ducts and cables, however the matching mechanical, electrical and plumbing supports are often not considered in the design stage and, thus are not on the BIM model. As a result, each trade commonly defines their own supports more based on experience rather than Engineering, which impacts in terms of coordination, waste of material, too much time invested in ordering material, etc. [2]. With the goal to improve productivity along the entire workflow including definition, installation and operation/maintenance of MEP systems, Hilti has developed BIM Design Services, which include the Design, Modelling and Output creation of MEP supports in a BIM workflow. Figure 1 shows the progress of the model along with the development of the different services [2]. Hilti's scope starts with previously coordinated LOD 300 Project Models, adding next a new layer of information to the MEP models with the supports, having a final model with a high LOD – LOD 400 [3].

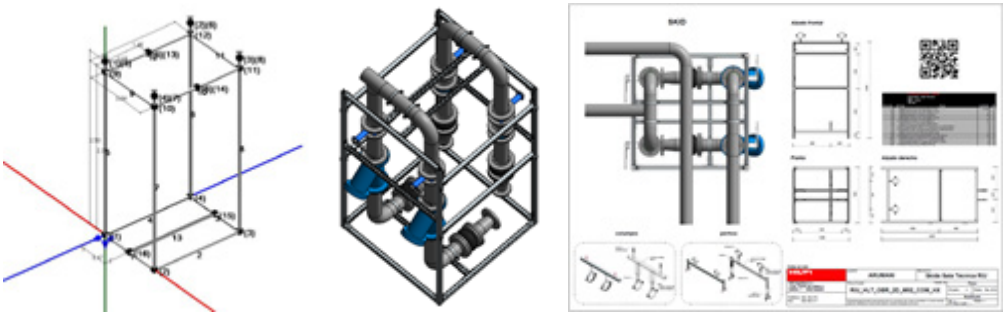


Figure 1
Progression of BIM Services: Design (left), Modeling (middle) and Output Extraction (right).

The stakeholders of the construction industry do not want BIM for itself, it always should be a mean to an end, and for Hilti these ends called BIM Use Cases.

The Use Cases powered by the BIM are [2]:

- Design optimization: with the study of different solutions and the adoption of multi-trade supports – later described in the current paper;
- Pre-fabrication: enabled by the shop drawings and coordinated models;
- Advanced logistics: Coordinating the logistics with the bill of materials;
- BIM-to-Field: usage of measuring tools to layout the positioning of the supports based on spacial parameters on the BIM model;
- Validation: better management of documentation and monitoring of the jobsite through the BIM model;

- Field-to-BIM: importing jobsite information into the model with Hilti's scanner.

Every year the pipeline of projects in which Hilti collaborates gets stronger, as this paper describes the collaboration with Ramos Ferreira, a leading company of design and execution of MEP installations, in a challenging project: the new University Hospital in Odense, Denmark.

1.2. Project Information

The Odense Hospital is part of a large structural reform for the Danish Healthcare System. It will be the largest new Hospital in Denmark built from scratch, with a ground floor of approximately 286,000 m^2 and with 849 beds [4].

Ramos Ferreira is the company in charge of the execution of the Mechanical and Hydraulic Trades of Central Building (DP03), shown at Figure 2.

Figure 2
The Odense Hospital, with the Central Buikding (DP03) shown in red.

1.3. Project Scope and Analysis

As shown in 1.2, Ramos Ferreira is working in the Central Building of the Odense Hospital. In this building there are different areas that distinguish for being more complex, which are the corridors, shafts and technical areas. As so, these were the areas considered under the scope of the BIM Design Services.

For the corridors, common trade solutions (supports that integrate both mechanical, electrical and plumbing trades), with a 2-meter spacing, were already defined by Hilti Italia for the General Contractor of the Project. However, as defined in the Danish Standard DS 428-2019 [4], there is a need to have intermediate supports between the common trade supports. As so, our scope was to study: (i) the intermediate supports of the corridors, (ii) supports of the shafts and (iii) supports of the technical areas.

Regarding the analysis of the project, the first step was to estimate the number of hours needed to execute the project. For this, it was performed a deep analysis, with the measuring of the different corridors, shafts and technical areas on the software Navisworks – see Figure 3.

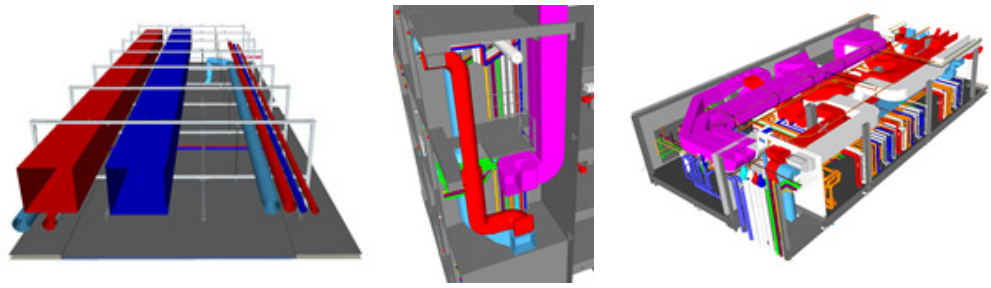


Figure 3
Example of corridors (left), shafts (middle) and technical areas (right) identified and measured.

With the measuring of the project, we also identified different types of solutions for the project (for example single point supports, U-frames, multi-trade supports, etc.) in which, for every type of solution, we have a benchmark of number of hours needed for design, generation of input to the modelling team, QA/QC, modelling and production of output from the BIM model.

From this study we estimated more than 1800 hours to execute the project, separated by the different tasks, supporting us on the planning of the project.

2. How we collaborate

2.1. Mobilization plan – team involved

In order to assist the execution of large and complex projects, like the Odense Hospital, Hilti has a BIM Competence Center, in Rotterdam, in which a very experienced team supports the market organizations. The BIM Competence Center of Hilti has the accreditation of ISO19650 [6].

A team of 10 people, from Hilti Portugal and the BIM Competence Center, was mobilized to execute this project. The team in Portugal consists of a BIM Project Manager, responsible for the project management, and two BIM Lead Engineers, which ensure the correct design of the MEP supports. From the BIM Competence Center there is an International BIM Project Manager, responsible to coordinate the team in Rotterdam, an International BIM Lead Engineer, which supports the team of designers in Portugal, a BIM Lead Modeller, which supports the Modelling team, composed by four modellers.

To ensure a good communication between the different teams, including the BIM Managers from Ramos Ferreira, is essential to have a good collaboration process.

2.2. Collaboration process

In order to ensure a good communication, is relevant to have an effective central repository where the construction project information is housed and shared through the different teams involved – the Common Data Environment (CDE). The CDE selected for this project was BIM 360, from Autodesk.

For the definition of the MEP supports, is vital that the project is coordinated upfront, without clashes between the different trades. To guarantee so, it is used the "Design Collaboration" functionality of BIM 360, where the BIM project models are "consumed" once they are coordinated and published by the different teams. After consuming the models, we link to our BIM model and start the design.

One major aspect that has a big impact within our productivity is that the project is divided into different Building Blocks, which makes our BIM models lighter and, therefore, faster to work. We have one central model for each Building Block, allowing us to work in an efficient way simultaneously by different teams.

The input to the modelling team and the QA/QC process (deep dive on these processes in chapter 3.3 of the current paper) is performed by the BIM Lead Engineers and communicated to the modelling team through BIM Track. BIM Track is a web-based issue tracking platform, that allows continuous coordination and keeps the project team updated about the issues open and closed – see Figure 5. Each issue created on BIM Track is connected to a specific Level, Phase, Discipline or Team involved, which makes it possible to have clear view on the different issues along the execution of the project. This platform is used by the Design team to communicate the input to modeler (information that the modelling team needs) and also the quality control of the models and output (drawings and bill of materials). A package is only delivered to Ramos Ferreira once all the issues are closed, so we have a guarantee that the output is according to the design. In Figure 4 it's possible to see a chart with the different issues according to the building blocks (phase of the project).

Figure 4
Issues sorted by phase of the project.

The output – design reports, BIM models, drawings and Bill of Materials are also shared through the CDE. An overall scheme of the collaboration process is presented at Figure 5.

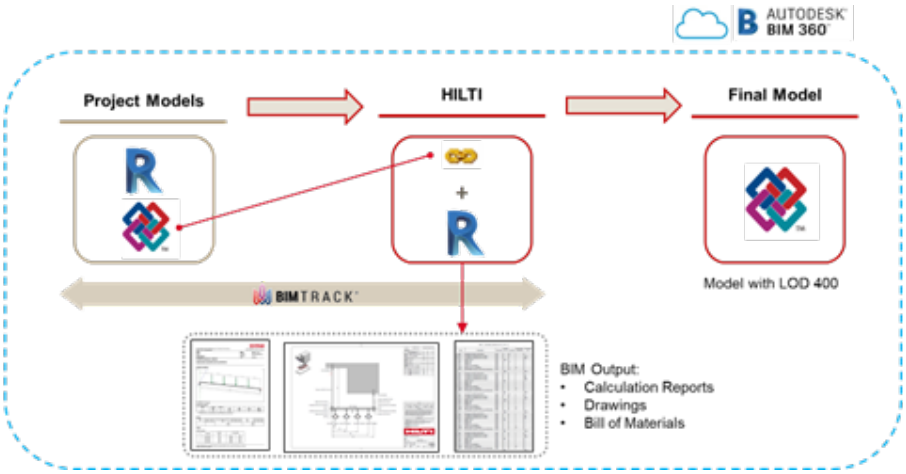


Figure 5
Overall scheme of the collaboration process.

3. From model to execution

3.1. Design of MEP Supports

The MEP supports are essentially small steel structures, in which the structural design must be carried out to ensure that they comply with the current regulations. The design is performed with the support of the software Hilti Profis Installation – see Figure 6. Profis Installation does the verification of the steel members of the supports according to Eurocode 3 [7].

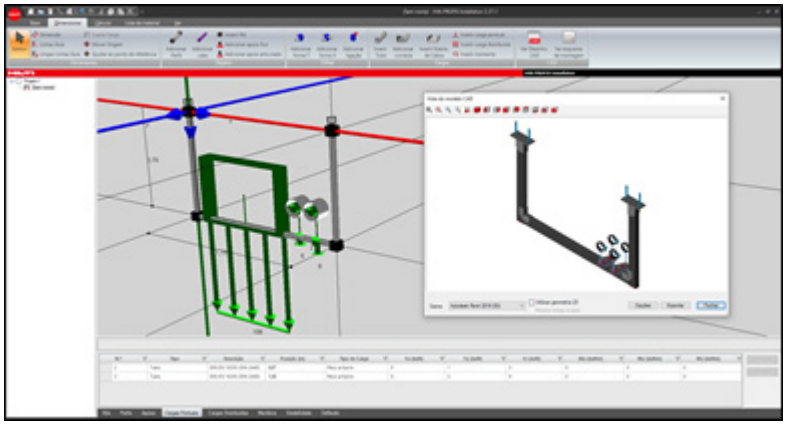


Figure 6
Design example of a support on Profis Installation.

Alongside the verification according to Eurocode 3, some extra requirements were also considered, according to the Danish local standard DS 428-2019 [5]. These requirements are related to the maximum spacing between the mechanical supports and other specific details, like the minimum threaded rod diameter for the supports.

The design criteria assumed is also influenced by the location of the supports. At the corridors, since we are only considering intermediate supports between the main supports, as stated in 1.3, the design only considers the self-weight of pipes and ducts, including water and insulation.

However, in the Technical Areas and Shafts, since the project has pipes with large diameters, thermal expansions phenomenon's must also be taken in account, to effectively control the displacements of the pipes.

When designing the supports, the goal is to achieve the optimal solution and provide the required inputs for the modellers to initiate the modelling process. The input to the modelling team needs to have all the information needed for later ordering and prefabricate the MEP supports, namely all the accessories needed, including non--graphical parameters, like the item number.

3.2. Solution Optimization

In order to identify the optimal solution for each situation, there are more parameters to consider than the cost of the material (hardware cost), namely the time and effort needed to assembly and install the supports (labour cost).

As so, during the design phase, multiple solutions can be studied for one application, considering the hardware cost and the labour cost. In the end these two different costs are summed in order to identify the global cost for the solution and, consequently, the cost optimal solution. For example, some accessories can have a higher cost comparing to others but be much faster and simpler to assembly (lower labour cost), which makes the solution, in the end, more suitable.

One example of this study carried out by our Engineers during the design is shown at Figure 7, with the comparison of five different solutions for the same application.

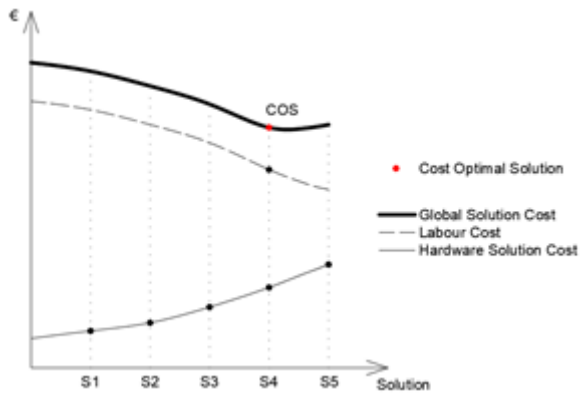


Figure 7
Coast optimal solution study – schematic representation.

Another topic that our team optimizes during the design is related to multi-trade supports. Traditionally, each trade works independently from each other, and defines their own supports and subsequently installs them at different points in time. Hilti follows an optimized project approach, striving to organize the mechanical and hydraulic trades into the same support – Hilti's multi-trade supports. In Figure 8 it's possible to see one example of a multi-trade support defined by Hilti.

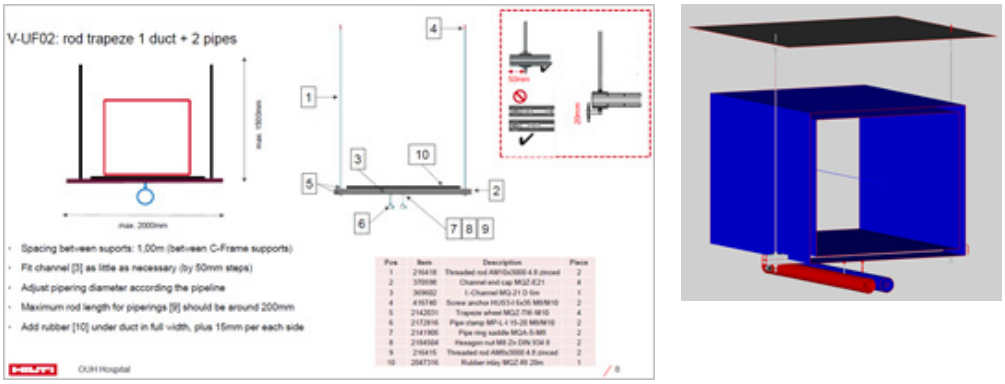


Figure 8
Example of a multi--trade support defined by Hilti with mechanical (duct) and hydraulic (pipes) trades: input to modeler (left) and support in the model (right).

3.3. Quality assurance & Quality control Process

Hilti's commitment to Quality assurance & Quality control (QA/QC) is based on the ISO 9001 certification [8]. All the BIM Lead Engineers have a clearly identified QA/QC process that takes place in two different occasions: (i) at the end of the modelling process and (ii) at the end of the production of BIM Output (drawings and bill of materials). This ensures that all the outputs from the BIM model are according to the quality requirements before sharing with Ramos Ferreira in the Common Data Environment.

As mentioned in the collaboration process, all the issues are communicated through BIM Track. With this process all the issues are treated as soon as possible, and an effective dialogue is achieved. The entire process is visible to all the relevant personal, which is relevant to guarantee that the proposed solutions fit all the parties involved.

3.4. Shop Drawings

The drawings of the MEP support solutions are generated through the BIM model. This fact, combined with the QA/QC process previously described, ensures high output quality and enables the prefabrication/pre-assembly of the supports.

The supports are defined with two different types of drawings: (i) a plan view identifying the position of the supports superimposed with the architectural layout and (ii) a section parametric drawing, which contains different tables with the parameters on the drawings, making possible the prefabrication with the minimum number of drawings and leading to high savings in labour costs. An example of the drawings generated is show at Figure 9.

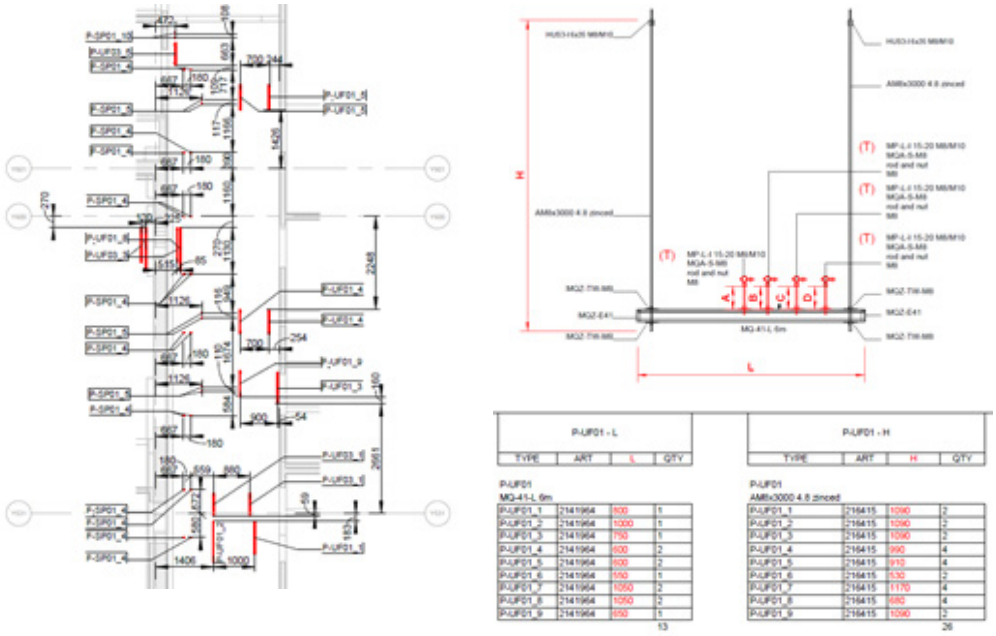


Figure 8
Example of drawings generated: plan view (left), section view (top right) and table with parameters (bottom right).

3.5. Phasing and Advanced Logistics

The world is facing challenging days, within a global pandemic context. The Covid virus is having an impact on different factors, namely in the logistics and stock material.

To minimize the impact of the pandemic context in the milestones of the project, it is essential to have a clear communication between our BIM Lead Engineers and our Logistics department, to make sure we are defining solutions and blocking hardware for the project in the warehouse at the same time.

For a successful logistics operation, BIM is vital. Our BIM models include all the pieces needed to assembly the supports, so the Bill of Materials is automatically extracted from the BIM model and has no human error. It was defined by Ramos Ferreira and Hilti a periodic delivery of hardware in Denmark (approximately every two months), so the material is being delivered for the different building blocks along the time. This also helps Ramos Ferreira to control the space they have for stock on the jobsite.

When there is a big mismatch between the quantity of material needed for the project at a time and the minimum order quantity (more than 10%), the remains are considered for the next orders of material, making sure we achieve high savings of material and minimize waste.

4. Our experience so far

The development of a LOD 400 model on the MEP trades of a project can have a big impact on the savings and productivity of a project. While defining the MEP supports upfront in the Odense Hospital, even though the project is still in progress, we have been identifying a lot of added value for Ramos Ferreira, namely:

- **Better coordination** of the different trades and among contractors – no definition of support solutions on the jobsite;
- **Savings on hardware (estimating up to 30%) due to the definition of the MEP supports** - Ramos Ferreira has a precise bill of materials, which allows a detailed material ordering instead of a bulk ordering with high material waste;
- **Savings on hardware due to the multi-trade support approach** (mechanical and hydraulic elements with the same support) – Estimated savings of approximately 1400 supports, 2800 anchors and, consequently, 700 hours of assembling supports and 110 hours of drilling on all of the Central Building;
- **Savings on assembly time** of approximately 610 hours, due to the **usage of the shop drawings for assembling the supports** (estimation for all of the Central Building);
- **Improved Logistics**, minimising the impact of the pandemic on the delivery of material on the jobsite and meeting the demanding project deadlines.

The added value mentioned above clearly justifies the Return of Investment (ROI) on the BIM Design Services. With our experience in this project, one key takeaway is the relevance of defining upfront the BIM Uses for the project. With a clear view about how can BIM support us in the different stages, is possible to convert the powerful information in the BIM model into productivity in the jobsite. The challenging experience within this project is also supporting Hilti on optimizing our BIM processes, to be more and more productive.

References

[1] Hilti, *Company Profile*, accessed December 14, 2021, https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/company/corporate-information/company-profile.html.

[2] Cerny, Pavel and Marques, Alexandre, "Redeeming BIM's Promise in Practice: Integrative Planning with Hilti as a Partner", *PTBIM 3º Congresso Português de Building Information Modelling*, Porto, pp. 123-124, November 2020.

[3] BIMForum, *Level of Development (LOD) Specification For Building Information Models,* December 2021.

[4] Nyt OUH, *The New University Hospital in Odense*, accessed December 15, 2021, http://www.nytouh.dk/english.

[5] DS 428:2019, Fire Protection of Ventilation Systems.

[6] ISSO 19650-1:2019, Organization and digitalization of information about buildings and civil Engineering works, including building information modelling (BIM).

[7] EN 1993-1-1, Eurocode 3 – Design of steel structure – Part 1-1: General rules and rules for buildings.

[8] ISO 9001:2015, Quality Management Systems Requirements.

Utilização de BIM na melhoria do desempenho energético em edifícios comerciais

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.24

Rodrigo C. Betim[1], **Maria João Falcão Silva**[2], **Fernando F. S. Pinho**[3]

[1] *NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA | Portugal*

[2] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil | Portugal*

[3] *CERIS | NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA | Portugal*

Resumo

O Building Information Modeling (BIM) oferece uma nova abordagem nos processos de controlo e gestão de toda a informação criada e desenvolvida na fase de projeto pelas várias especialidades, bem como por todos os intervenientes durante o ciclo de vida dos edifícios, através da criação de um modelo digital. A reabilitação de edifícios tem vindo a crescer nos últimos anos e é atualmente uma das áreas com maior investimento a nível mundial. Um dos principais objetivos da reabilitação de edifícios é aumentar o seu ciclo de vida, consumindo menos material e energia, em comparação com os recursos exigidos pelas novas construções. A eficiência energética dos edifícios nos últimos anos tem sido abordada em todo o mundo como um dos fatores fundamentais para uma melhor utilização dos recursos naturais e, consequentemente, para a redução da pegada de carbono.

O principal objetivo deste trabalho é evidenciar a importância da reabilitação energética de edifícios, através do desenvolvimento de modelos energéticos baseados em ferramentas BIM. O procedimento adotado pode servir como guia prático noutras situações e projetos semelhantes pela sua facilidade de aplicação a outros edifícios. O trabalho apresentado consiste na simulação energética em BIM de uma intervenção do uso e ocupação de uma grande área comercial, na área metropolitana de Lisboa. Prevê-se, com o procedimento proposto, apresentar a comparação entre ganhos de desempenho em termos de eficiência energética, considerando o período de retorno do investimento e custos associados a nova alternativa de reabilitação, assim como o balanço a análise da emissão de CO_2.

Palavras-chave: BIM; Reabilitação energética de edifícios; Edifícios comerciais; Eficiência energética.

1. Introdução

Os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo total de energia na Europa, e representam um terço das emissões globais de gases de efeito estufa [1]. Reabilitar é tornar os edifícios mais eficientes, permite atingir vários objetivos em simultâneo, seja pela redução do consumo de energia e das emissões de gases com efeito estufa, seja pelo aumento da vida útil dos edifícios, com consequente rentabilização dos recursos ambientais já investidos [2, 3].

O BIM incorpora muitas das funções e ferramentas necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, através da construção de um modelo virtual preciso e digital, com características físicas e funcionais, que permite a troca eficiente de dados dentro dos processos de conceção, construção e manutenção de um determinado ativo construído [4]. Dada a riqueza da informação, o modelo digital pode ser aplicado ao sector da reabilitação, ao utilizar a dimensão BIM 6D que permite executar análises energéticas detalhadas, avaliar o impacto ambiental, realizar medições e verificações com vista a um melhor desempenho energético [5].

Este artigo pretende apresentar uma proposta de guião para a construção de modelos de energia para edifícios a serem reabilitados e que pode ser aplicado a qualquer ferramenta BIM de análise energética, sendo apresentadas diretrizes e informações que são atribuídas ao modelo, e que podem ser alteradas e comparadas ao longo do processo de elaboração dos projetos, com o objetivo de definir, no final, quais opções mais adequadas, tendo em conta o custo de investimento, de exploração, de manutenção e do desempenho energético que contribui com a pegada de carbono.

2. Enquadramento conceptual

A quantidade de informação envolvida em qualquer projeto de construção e a necessidade de controlar tempos, custos e desperdícios, estabeleceu e fortaleceu o BIM como parte integrante do setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), com vista à promoção da interoperabilidade de informação e uma comunicação adequada entre as várias equipas envolvidas nos projetos. O BIM pode ser adotado em qualquer fase do ciclo de vida de um empreendimento, nomeadamente nas fases de projeto, construção e/ou exploração [6].

Os modelos paramétricos são características do BIM que agregam grandes vantagens para os intervenientes no setor. Dado que são definidos parâmetros para um objeto, ao alterar algum desses parâmetros, a mudança repete-se de forma automática em todos os objetos semelhantes, permitindo assim a possibilidade de se testar várias alternativas e avaliar os seus efeitos nas construções. É de referir que são estes parâmetros que permitem a extração de informações, como tabelas de quantidades de materiais [5].

O BIM tem sido utilizado em diversos estudos de reabilitação energética ao longo dos anos, comprovando desta forma os benefícios da utilização desta metodologia

em análises deste tipo. Reabilitar do ponto de vista energético consiste em otimizar a eficiência dos sistemas de climatização e iluminação, de forma a reduzir o custo associado ao consumo atual de energia e, se possível, recorrer à introdução de dispositivos que permitam o aproveitamento de energia a partir de fontes renováveis. [7] Em casos de estudo recentemente publicados, for possível comparar de forma rápida e eficaz diferentes soluções de reabilitação através do acesso a informação prévia como os consumos, o balanço energético e o impacto ambiental. Estas informações permitem que, ainda numa fase inicial, o projetista, o dono de obra e empreiteiro possam decidir de forma mais sustentada as suas ações de forma a otimizar todo o projeto e intervenções de reabilitação [5]. É de referir ainda um estudo que estabelece fases distintas e sequenciais para a elaboração do modelo de energia em projetos de reabilitação, apresentando premissas de implantação e integração de dados entre o modelo BIM e o software de simulação de energia. É ressalvada também a necessidade de criar sistemas que permitam calibrar a simulação de energia usando dados de contas reais de serviços públicos. Ao utilizar o BIM, torna-se possível elaborar opções para uma renovação com enfoque na componente energética onde o modelo final deve ser baseado em análises de custo-benefício detalhadas que incluem considerações ambientais (economia de energia), bem como fatores económicos, como retorno sobre o investimento ou período de retorno [8].

3. Guia orientativo para simulação energética em BIM

Na sequência do caso de estudo que envolve a reabilitação dos sistemas de climatização de um edifício comercial, observou-se a necessidade de se ter mecanismos digitais de simulação em BIM, para avaliar as condições reais de funcionamento do edifício existente e comparar com as possíveis alterações do projeto de reabilitação. O guia foi dividido em quatro etapas:

3.1. Etapa 1(construção e validação do edifício existente)

Corresponde à obtenção e estruturação da informação dos dados do edifício existente, sendo importante a validação do modelo com base no consumo real das contas do serviço público (Figura 1).

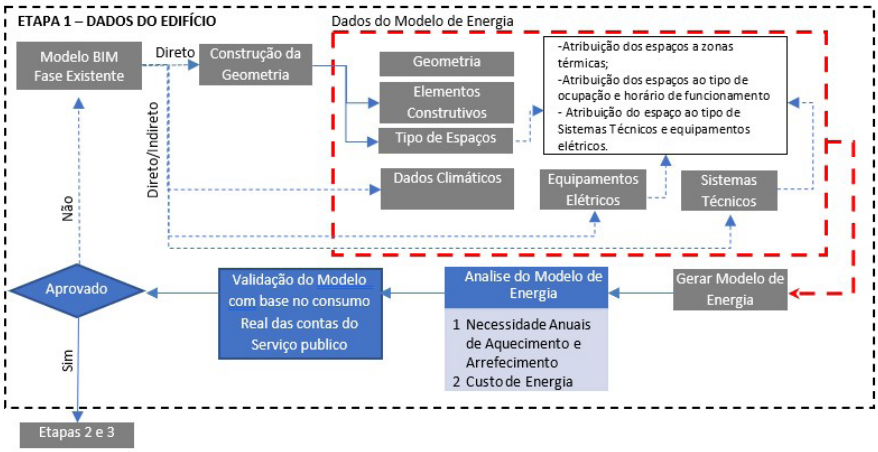


Figura 1
Fluxo de trabalho da Etapa 1 (Edifício existente) para criação e análise da simulação energética em BIM, adaptado de [9].

Os materiais dos elementos construtivos devem ter as seguintes propriedades claramente definidas: espessura, e (m), condutividade térmica, λ [W/(m.K)], calor específico, c (J/g.ºC) e massa volúmica, ρ (kg/m^3) para os cálculos da resistência térmica, R (m^2.K/W) e coeficiente de transferência de calor, U [W/(m^2.K)], para vãos envidraçados os parâmetros complementares são designadamente transmissão de luz visível e fator solar [10]. É preciso saber o tipo de espaço a que cada ambiente pertence e definir parâmetros como área por pessoa, ganho de calor (sensível e latente) por pessoa, perfis de ocupação, taxas de ventilação, períodos de utilização dos equipamentos elétricos, tipo de zona térmica que se define como o espaço ou conjunto de espaços passíveis de serem considerados em conjunto devido às suas similaridades em termos de perfil de utilização dos sistemas técnicos. O sistema técnico é definido como o conjunto dos equipamentos associados ao processo de climatização, incluindo o aquecimento, arrefecimento e ventilação natural, mecânica ou híbrida, a preparação de águas quentes sanitárias e a produção de energia renovável, bem como, nos edifícios de comércio e serviços, os sistemas de iluminação e de gestão de energia, os elevadores e as escadas rolantes [11].

Após inserir os dados e gerar o modelo de energia através da ferramenta de análise, são obtidas informações das necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento para serem transformadas em custo de energia e comparadas com o consumo real das contas do serviço público referente ao sistema de climatização, após a validação do modelo os dados de consumo são armazenados para serem utilizados na Etapa 3 e o modelo segue para a Etapa 2.

3.2. Etapa 2 (alternativa de reabilitação ao modelo existente)

A segunda etapa é destinada a elaboração de alternativas de reabilitação do modelo da Etapa 1 com aplicação dos regulamentos vigentes (Figura 2).

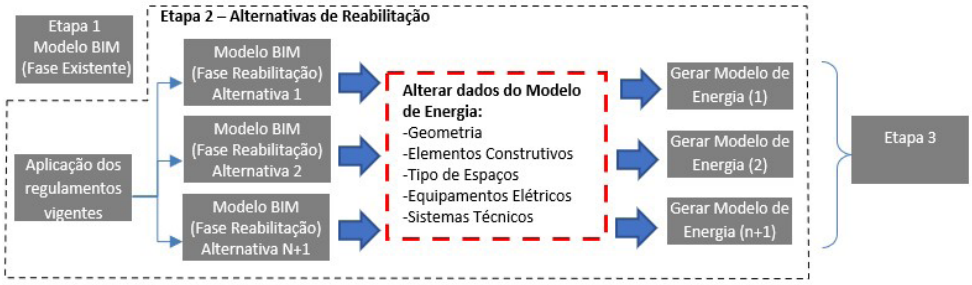


Figura 2
Fluxo de trabalho da Etapa 2 para criação e análise da simulação energética em BIM, adaptado de [9].

Em Portugal, a primeira legislação com preocupação relativa ao comportamento térmico e eficiência energética de edifícios, data de 1990, com a publicação do Decreto-Lei 40/90. Desde então, a regulamentação tem estado em constante alteração e reformulação, devido tanto à transposição das Diretivas Europeias, como pelas preocupações em adotar metodologias mais eficientes e que procurem traduzir um melhor comportamento do edifício [13]. Atualmente, vigora o Decreto-Lei 101D/2020, que revogou o Decreto-Lei 118/2013, e define os novos requisitos aplicáveis aos edifícios para melhoria do seu desempenho energético.

Ainda na Etapa 2 são feitas alterações nos parâmetros dos dados do modelo de energia de acordo com cada alternativa de reabilitação. Após gerar os modelos de energia, os dados das análises devem seguir para a Etapa 3.

3.3. Etapa 3 (análise comparativa do consumo de energia dos modelos de energia)

A terceira etapa refere-se à comparação entre os modelos de energia do edifício existente (Etapa 1) com os modelos de energia gerados para cada opção de intervenção de reabilitação (Etapa 2), analisando as necessidades anuais de energia ao longo de todo o ano, os respetivos custos de energia, consumo de energia primário e as emissões de CO_2. A necessidade de energia tem o objetivo de mostrar a influência de aquecimento e arrefecimento existente no edifício para cada mês do ano, sendo possível estudar os fatores de maior influência na necessidade do uso de climatização e sugerir alterações para a sua minimização, auxiliando na escolha das soluções construtivas, assim como dos sistemas de climatização e equipamentos, tendo em vista uma maior eficiência energética da edificação [14]. Na realização de um estudo energético em edifícios, é importante analisar também a emissão de gases de efeito estufa (CO_2) que o consumo de energia provoca, e pensar em alternativas que possam auxiliar a reduzir este consumo.

3.4. Etapa 4 (análise financeiras entre os modelos de energia)

A quarta etapa corresponde à análise do nível ótimo de rentabilidade, definido como o desempenho energético que leva ao menor custo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Tendo como princípio o comparativo dos dados obtidos da Etapa 3 da necessidade de energia e o cálculo do custo global (custo de investimento, manutenção e os custos de exploração do edifício ao longo do seu período de vida) das opções estudadas no edifício, obtém-se a análise do nível ótimo de rentabilidade [7]. Através destes dados pode-se extrair o período de retorno do investimento para cada análise e encontrar quais soluções satisfazem o melhor desempenho energético e financeiro.

4. Resultados do caso de estudo

4.1. Localização e caracterização geral

O Caso de Estudo corresponde a uma superfície comercial, localizada na Área Metropolitana de Lisboa, onde se prevê alterações na utilização e ocupação na região do Food Court, e consequentemente, alterações ao nível dos consumos de energia do sistema de climatização. A área do caso de estudo (Etapa 1 – Edifício existente) corresponde a 3.283m^2, contemplando estabelecimentos de restauração, sendo que para a Etapa 2 (Alternativa de reabilitação) a área do estudo reduz cerca de 53,79% o que corresponde a 1.517m^2, contemplando estabelecimentos de retalho. As áreas do estudo estão representadas na Figura 3.

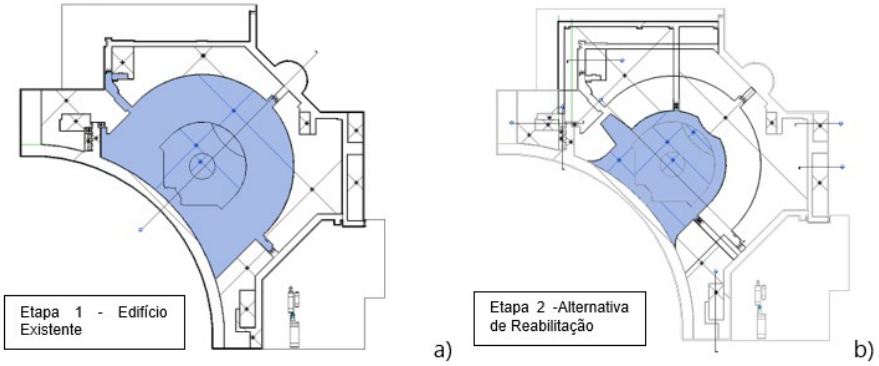


Figura 3
Áreas para Caso de Estudo: a) Etapa 1 (Edifício Existente); b) Etapa 2 (Alternativa de Reabilitação).

4.2. Construção do Modelo Existente

Foi realizado uma análise do Relatório do Certificado Energético do edifício em estudo e durante a visita ao local, por forma a produzir um modelo o mais aproximado possível das condições reais e atuais de uso e ocupação do edifício existente. O modelo de arquitetura para o estudo de caso foi simplificado, contendo apenas paredes, lajes, telhado, forros, portas e vão envidraçados; elementos estruturais como pilar e vigas não foram considerados neste modelo.

Tendo por base a metodologia BIM, uma grande vantagem do Revit, programa utilizado neste estudo de caso, é a possibilidade de criar, com precisão aprofundada, materiais que representam a realidade das suas propriedades térmicas, as quais podem ser editadas caso necessário. O programa realiza um cálculo automático da resistência térmica dos componentes construtivos, R, a partir das espessuras e valores de condutibilidade térmica de cada camada de material. Entretanto o programa não conta as resistências térmicas superficiais interiores e exteriores dos elementos no cálculo da resistência térmica total de ambiente a ambiente, R, e, consequentemente, no coeficiente de transmissão térmica, U [14], conforme indicado nas publicações do LNEC (ITE50). Assim, foi inserido uma camada interna e externa nos elementos construtivo com espessuras e parâmetros para considerar a resistência térmica superficial e averiguar os valores dos coeficientes de resistência térmica (R) e de transmissão térmica (U), no Revit, com base no documento ITE50.

Na construção do modelo existente é importante criar zonas térmicas e configurar os espaços do projeto, pois as cargas internas do edifício são provenientes do tipo de espaço, sendo possível configurar de acordo com as características de uso, ocupação e o tipo de condição de climatização. Para os dados de ocupação foi feita uma análise das informações obtidas pelo programa de gestão energética WiseMetering, fornecido pela empresa que administra o edifício, o que proporcionou maior assertividade na construção do modelo existente.

4.3. Análise e validação do modelo de energia com o consumo real

Uma forma encontrada para validar o modelo de energia do edifício existente com os dados reais de consumo foi através da análise do relatório de cargas térmicas do Revit de aquecimento e arrefecimento. Foi adotado que os equipamentos funcionam 16h em função da ocupação e horário de funcionamento do edifício, e durante os 365 dias do ano que gera um total de 4.480.588 kWh/ ano**.** Através dos dados fornecidos de 2019 pela empresa que administra o edifício, foi possível obter o consumo de energia térmica de água fria das UTA´s da região do Food Court no total de 4.417.966 kWh/ano. Portanto o desvio obtido foi de 1,4%, assim o modelo em condições reais é válido, pois o desvio é de 10% em relação ao consumo energético do edifício ao longo do ano [15].

4.4. Modelação da alternativa de reabilitação

Um dos grandes recursos dos programas BIM é a capacidade de acumular informações em diferentes fases do projeto. Sendo assim, é possível utilizar o modelo desenvolvido na Seção 4.4 e criar uma nova fase no Revit, a que foi dado o nome de "Alternativa de Reabilitação". Nesta fase foram realizadas diversas alterações no projeto como retirada de parede e lajes (demolição), criação de novos elementos construtivos (paredes, lajes, pisos, portas). A Figura 4.24 apresenta as alterações no Piso 2 e no Piso 3 com relação à arquitetura, mostrando o contraste da parte nova (vermelho) e da parte a ser demolida (amarelo). O Piso 1 não sofreu alterações.

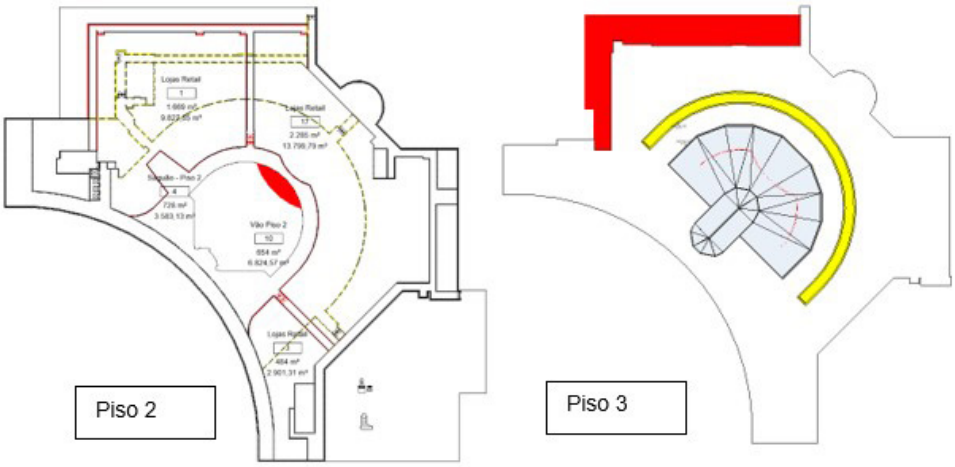


Figura 4
Projeto da Alternativa de Reabilitação.

Foram criadas novas zonas térmicas em função dos novos espaços e devido as alterações de uso e ocupação, já o tipo de sistema de climatização foi mantido por possuir características adequadas de funcionamento dos novos espaços e zonas térmicas. Para a realização da simulação dinâmica, os valores do coeficiente de transmissão térmica (U) da cobertura, parede e pisos internos e da fachada envidraçada foram mantidos, tendo os valores do U de todas as paredes externas sido redefinidos para

fazer a verificação do valor de referência do U de acordo com a regulamentação vigente [A Portaria n.º 17-A/2016].

4.5. Comparação entre modelos de energia (etapa 1 vs etapa 2)

Nesta seção apresenta-se a comparação dos dados gerados nos modelos de energia do edifício existente e a alternativa de reabilitação, onde o foco é verificar qual o impacto da carga de arrefecimento para a área do Food Court que foi modificado e reduzida para uma área de saguão em função da modificação do tipo de ocupação (restauração para retalho).

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram a influência da alteração de ocupação. Verifica-se uma redução: i) de área e volume em 53%; ii) do valor do consumo em cerca de 44%; iii) do impacto do número de pessoas em apenas 31%.

Tabela 1
Dados Comparativo Edifício Existente x Alternativa de Reabilitação.

Fases (Edifício)	Nº de Pessoas	Volume (m^3)	Área (m^2)	Carga de Arrefecimento (kWh/ano)
Existente	1817	25062	3.282	4480588
Alternativa de Reabilitação	1248	11771	1.517	2523522
Diferenças	-569	-13291	-1765	-1957066
Desvio [%]	-31,3	-53,0	-53,8	-43,7

Através do relatório de carga térmica do Revit é possível identificar quais as componentes que mais contribuem para as necessidades de arrefecimento (Figura 5)

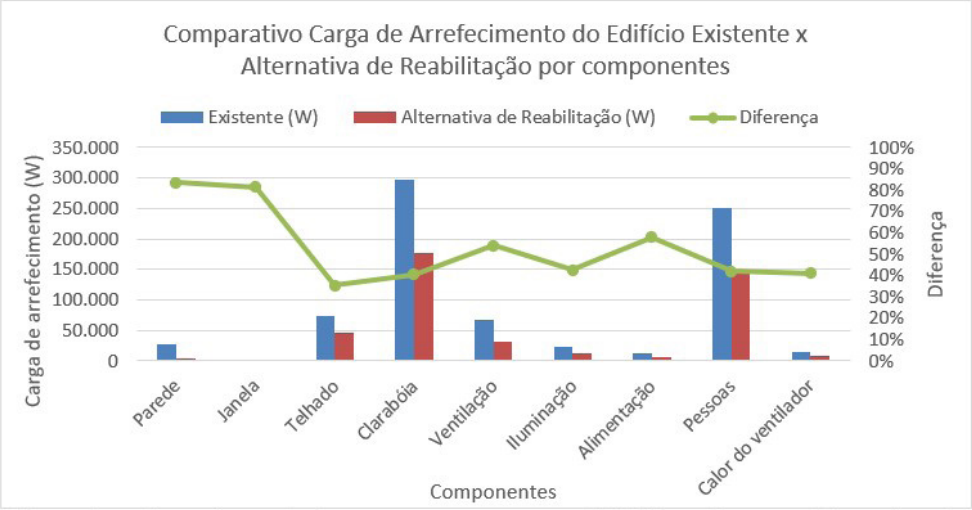


Figura 5
Carga de arrefecimento por componentes (Edifício existente x Alternativa de Reabilitação).

Nesta etapa é feito o comparativo da energia primária (Ep) e do Custo de Energia para os dados do edifício existente e da alternativa de reabilitação, representados na Tabela 2.

Tabela 2
Análise comparativa de Energias do Edifício Existente x Alternativa de Reabilitação.

Fases (Edifício)	Área	Nvc (kWh/m².ano)	Ep (kWhep/m².ano)	$kgCO_2$ / ano	Custo Energia [€/kWh] /ano
Edifício Existente (a)	3282	1365	512	241831	191449
Alternativa de Reabilitação (b)	1517	1663	623	136202	107827
Diferenças (b-a)		298	112	105629	-83623
Desvio		22%	22%	-44%	-44%

Com os dados obtidos, ao analisarmos os valores Ep (kWhep/m2.ano), pode-se afirmar que o consumo de energia da Alternativa de Reabilitação por metro quatro esta 22% maior que a do edifício existente, podendo ter como fator influência a alteração do uso e ocupação do espaço. Outro ponto de análise da Tabela 2 é que ao analisarmos o custo de energia no ano total, em função da área do edifício existente ser maior o custo de energia da alternativa de reabilitação é 44% menor que o consumo de energia do edifício existente.

4.6. Análise financeiras entre os modelos de energia (Etapa 4)

Para este estudo foi feito uma análise sobre a alternativa de reabilitação já definida para a área do Food Court, e o propósito foi demonstrar o impacto desta alternativa em comparação com as condições existentes do edifício. Neste caso, como se trata de uma solução (alternativa de reabilitação) já adotada não tendo outras soluções (alternativas), o custo ótimo acaba sendo o da alternativa de reabilitação. Os cálculos a seguir não levaram em consideração os custos de manutenção tanto do edifício existente quanto da alternativa de reabilitação, na Tabela 3 representa os resultados do custo global de acordo com o regulamento delegado (UE) Nº 244/2012 para 20 anos, tendo como taxa de desconto de 4% de juros (constante) e apresenta o período de retorno do investimento conforme Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013 [16].

Tabela 3
Análise do Custo Global e do Período de Retorno.

Dados	Edifício existente	Alternativa de reabilitação
Área útil (m²)	3282	1517
Custo de Investimento (€)	0,00	1552324
Custo de Investimento (€)/m2	0,00	1023
Custo Global (Cg) (€)	4662330	4178206
Custo Global (Cg) (€/m²)	1421	2754
Custo de Exploração (20 anos)	4662331	2625882
Fator de Desconto (Rd,i)	0,46	
Período de Retorno	15 Anos	

Ao analisar o Custo Global (Cg) (€/m²), verificou-se que a alternativa de reabilitação não apresenta ganhos financeiros comparados com o valor do Edifício existente. Por outro lado, ao analisarmos o custo Custo Global (Cg) (€) ao longo de 20 anos o custo de exploração é maior do edifício existente em função da área ser maior, onde é possível obter o período do retorno do investimento para este setor do edifício em 15 anos.

Conclusões

Aliar o BIM à análise energética de um edifício reabilitado, permite validar soluções mais sustentáveis para o ambiente que maximizem o potencial do edifício, tornando-as mais vantajosas não só para o dono de obra, como para todos os intervenientes e/ou gestores do edifício.

O sistema de climatização é influenciado pelos ganhos térmicos das envolventes e pelo tipo do espaço e ocupação, como visto nos resultados obtidos; desta forma, este trabalho proporciona um mecanismo para auxiliar os gestores para avaliar se as características dos materiais e equipamentos atendem às necessidades do projeto e do cliente. A análise feita em função do consumo de energia por metro quadrado e do custo global por metro quadrado, demostrou que a solução adotada para o modelo da alternativa de reabilitação em função das necessidades de energia do novo uso do espaço, apresentou condições inferiores comparada com o edifício existente.

O objetivo deste artigo foi de servir, para a classe académica e dos profissionais do setor, como um guia orientativo para a construção de um modelo de energia, onde se apresentam os principais parâmetros térmicos e normativos para elaborar um modelo de energia de um edifício existente, validar este modelo energético e extrair informações para uma melhor análise das cargas térmicas do edifício existente e das soluções propostas de reabilitação.

Referências

[1] Brandão de Vasconcelos, A; Pinheiro, M D; Manso, A; & Cabaço, A (2016) EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building Energy and Buildings, http://doiorg/101016/jenbuild201511006

[2] Prosil, L (2017) A sustentabilidade na reabilitação de um edifício habitacional – caso de estudo, Dissertação de Mestrado Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal

[3] Resolução do Conselho de Ministros nº 53/2020, Plano Nacional Energia e Clima 2030

[4] Eastman, C; Teicholz, P; Sacks, R; Liston, K (2011) BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd Edition

[5] Silva, S (2019) Aplicação do BIM à Reabilitação Energética de um Edifício Público, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Lisboa, Portugal

[6] Pandeli, C; Kylili, A; Fokaides, P A (2020) Building information modelling applications in smart buildings: Fromdesign to commissioning and beyond

A critical review, Journal of Cleaner Production, https://doiorg/101016/jjclepro2020121766 8

[7] Almeida, M; Ferreira, M; Rodrigues, A (2013) Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo Revista Materiais de Construção

[8] Khaddaja, M; Srour, I (2016) Using BIM to Retrofit Existing Buildings, Proceding Engening, https://doiorg/101016/jproeng201604192

[9] Jungsik, C; Jihye, S ; Minchan, K; Inhan, K (2016) Development of openBIM--based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment Automation in Construction, https://doiorg/101016/jautcon201607004

[10] Isayeva, A (2018) Aplicação do BIM à Avaliação e Gestão da Eficiência Energética de Edifícios Públicos Dissertação de Mestrado, Univesidade de Aveiro, Portugal

[11] Pretti, A (2019) Interoperabilidade BIM e BEM: Avaliação de eficiência do sistema na análise energética de edifícios, Dissetação de Pós Graduação, Universidade do Espirito Santo, Brasil

[12] Moreira, P (2020) Transposição da Nova Diretiva Europeia EPBD2018 para a regulamentação térmica em Portugal, Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal

[13] Decreto-Lei nº 101-D/2020, Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944

[14] Queiroz, G. R. de. (2016) Análise Da Interoperabilidade Entre Os Programas Computacionais Autodesk Revit E Energyplus Para a Simulação Térmica De Edificações. Retrieved from https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7939

[15] J de J da C Gomes (2012) Simulação dinâmica detalhada de um grande edifício no âmbito do RSECE, Dissertação de Mestrado , Universidade do Minho

[16] Betim, R. (2022) BIM na reabilitação energética de edifícios comerciais. Aplicação a sistemas de climatização, Dissertação de Mestrado, FCT NOVA, Lisboa, Portugal.

Revisão bibliográfica: Uso do BIM em projetos de infraestruturas de transportes

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.25

Isabela Ferreira[1]

[1] *Universidade de Brasília, Brasília/DF*

Resumo

A mobilidade de transporte é um parâmetro socioeconômico vital para o desenvolvimento humano, proporcionando segurança e bem-estar aos seus usuários. O crescente aumento da população urbana mundial elucida a necessidade de avanço tecnológico em técnicas de gestão mais sustentáveis. A adoção da plataforma Building Information Modelling (BIM) em infraestrutura de transporte é potencialmente atrativa para a gestão da informação de projetos públicos e privados. O artigo apresenta os resultados da pesquisa exploratória e levantamento das publicações científicas numa análise amostral de periódicos relacionados ao uso de BIM em projetos de infraestrutura de transportes. Do total de vinte e oito publicações, revisou-se cinco artigos amostrais especificamente correlacionados à infraestrutura de transporte, visando contribuir com a base científica atual e o avanço setorial. Os resultados obtidos apontam o crescente aumento do uso da plataforma BIM em projetos de infraestrutura de transporte. Também revela a iminente necessidade do estabelecimento de um padrão neutro de compartilhamento de informações e promoção da interoperabilidade de dados, englobando não apenas componentes tecnológicos, mas também a gestão dos processos e o fortalecimento dos profissionais envolvidos. Ademais, aponta a tendência de colaboração contínua entre as instituições acadêmicas e as indústrias para mitigar desafios, preencher lacunas e dirimir restrições construtivas.

1. Introdução

A definição do termo infraestrutura apresentada pelo dicionário Oxford consiste em *"estruturas físicas e organizacionais básicas, instalações necessárias à operação de uma sociedade ou organização empresarial"*. Entre os ativos do amplo segmento de infraestrutura encontra-se a Infraestrutura de Transportes, o qual inclui: estradas, ferrovias, pontes, túneis e centros de distribuição de massas, como por exemplo: aeroportos, portos e docas.

No âmbito dos aspectos relacionados ao desenvolvimento social e econômico de uma nação, a infraestrutura da mobilidade de transporte constitui um importante parâmetro indicativo de eficácia do movimento de insumos e pessoas. A revisão literária aponta que quanto mais ágil e eficiente for a infraestrutura implantada de apoio à atividade humana, maior a segurança e bem-estar propiciado aos seus usuários.

A crescente taxa mundial de adensamento populacional urbano, associada ao evolutivo envelhecimento dos elementos construtivos relacionados à infraestrutura de transporte, evidencia a constante necessidade de implementação de inovações tecnológicas na indústria da construção, aliadas às técnicas de gestão mais eficientes ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento – incepção, concepção, modelagem de projetos, construção, uso e manutenção, retrofit ou demolição.

Neste sentido, entende-se que a plataforma Building Information Modelling (BIM) constitui *"uma tecnologia de modelagem associada a um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de edificações"* [1], além de *"uma forma colaborativa de trabalhar com base em tecnologias digitais, que permitem métodos mais eficientes de projetar, fornecer e manter ativos físicos construídos durante todo o seu ciclo de vida."* [2]. Constitui também *"o método de trabalho digital para a indústria da construção, criando benefícios adicionais, pessoas, processos e ferramentas interagem durante todo o ciclo de vida da construção. Assim, um projeto de construção ganha em transparência, qualidade, custo certo e certeza do tempo."* [3]. Já o disposto na legislação brasileira intituldada Decreto Federal Nº 9.377, a qual institui a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil, entende-se a designação de BIM como *"o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, de forma a servir a todos os participantes do empreendimento, potencialmente durante todo o ciclo de vida da construção."* [4].

Importante esclarecimento sobre o uso do BIM na construção é que este não se resume apenas à modelagem tridimensional de projetos (3D), mas sim, constitui o amplo ambiente virtual que propicia o processo de gestão da informação, sendo o modelo 3D apenas uma maneira de representação da informação. Desta forma, a gestão centralizada e colaborativa da informação proporcionada pela plataforma BIM ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento – desde a sua criação, compartilhamento e gerenciamento de dados – promove uma nova mudança de paradigma

para o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) por meio da disponibilidade de captura e acesso à todas as informações relacionadas às diferentes disciplinas de projeto e etapas de construção, afim de serem utilizadas nas fases de Operação e Manutenção (O & M), Retrofit ou Demolição [5].

Ao longo das últimas décadas, o BIM vem sendo evolutivamente adotado pela Cadeia Produtiva da Indústria da Construção (CPIC), contudo a sua aplicação na infraestrutura de transporte tem acontecido de forma mais lenta e gradual [6]. Num esforço conjunto para a adoção do BIM, cada vez mais a indústria e academia se aliam no enfrentamento dos desafios setoriais. Contudo, de uma maneira geral, a revisão literária focada em BIM aponta para outras áreas correlatas, não especificamente voltadas para infraestrutura de transportes, tais como: edificações, gerenciais, colaboração, aplicação e gerenciamento de dados; aliada à perspectiva construtiva e pesquisa global BIM [7]. Desta forma, este artigo visa contribuir com a atual base de pesquisa acadêmica sobre o uso do BIM em projetos de infraestrutura, especificamente voltados para a área de transporte e suas aplicações em prol do avanço setorial. Fornece o resultado da pesquisa exploratória de levantamento de publicações científicas mais relevantes e a análise amostral de artigos de periódicos científicos.

2. Building Information Modelling (BIM) em projetos de infraestrutura

Inicialmente, antes da empregabilidade do termo “BIM” no setor construtivo, a produção de informações paramétricas computacionais voltavam-se para o desenvolvimento de projetos de modelos de produtos e representação eletrônica de edifícios. Posteriormente, a troca de dados e a colaboração de projetos foi amparada pela tecnologia Computer Aided Design (CAD), ou seja, Desenho Assistido por Computador.

Atualmente, no âmbito da modelagem de projetos, a plataforma BIM abrange o modelo tridimencional (3D) evoluído da tecnologia CAD, e acrescenta o armazenamento da expansão de todas as suas informações e propriedades, tais como: desenhos e plantas de projetos, dados de produtos, simulações, cronogramas, prazos, sequenciamento de operações, entre outras dimensões [8].

No contexto da infraestrutura de transporte, antes da adoção do BIM para esta área, ferramentas e métodos computacionais foram desenvolvidos para auxiliar a entrega de projetos digitais. A empregabilidade da definição de BIM nesta área remonta ao desenvolvimento de um sistema eletrônico para microcomputador, destinado ao gerenciamento de pontes. Anteriormente, o fluxo de trabalho baseava-se na prática da modelagem de projetos e reporesentação gráfica em papel. A adoção do fluxo de trabalho eletrônico computacional para modelagem de projetos propiciou o surgimento do Bridge Information Modelling (BrIM), sendo este uma extensão do BIM com enfoque em pontes [9].

A necessidade da concepção de modelos de projetos BrIM, diferenciados do BIM, advém da variação das características e técnicas utilizadas para construção, operação,

manutenção das estruturas - as pontes possuem recursos específicos, tais como: alinhamentos dos eixos de referências e curvaturas de vigas, que demandam exclusividade de concepção projetual, construção e manutenção diferenciadas das peças estruturais edilícias. Neste sentido, grande parte dos recursos são empregados na fase de operação e manutenção (O & M) das estruturas ao longo de todo o ciclo de vida das pontes; diferentemente das edificações cujos recursos empregados ao ciclo de vida enfatizam as etapas posteriores à sua entrega.

Adenais, os projetos de infraestrutura civil demanadam grande parte das informações dos terrenos, como por exemplo, os dados oriundos de sistemas de coordenadas e do Sistema de Informação Geográfica (GIS), além de operações pesadas de movimentações de terras (cortes/aterros). A definição mais atual para Civil Integrated Management (CiM), que dispõe sobre a Gestão Integrada Civil equivalente ao BIM, é *"a coleta, a organização, a acessibilidade gerenciada e o uso de dados e informações precisos habilitados por tecnologia ao longo do ciclo de vida de um ativo de transporte. O conceito pode ser usado por todas as partes afetadas para uma ampla gama de propósitos, incluindo planejamento, avaliação ambiental, levantamento topográfico, projeto, construção, manutenção, gerenciamento de ativos e avaliação de risco."*

Neste sentido, uma variedade de siglas e termos vem sendo adotada, até mesmo sob a mesma sigla, a fim de significar a utilização da tecnologia para o desenvolvimento e compartilhamento de informações ao longo do ciclo de vida de um empreendimento, estrutura ou ativo. A Tabela 1 apresenta as principais siglas atualmente publicadas na literatura acadêmica.

Tabela 1
Acrónimos e significados para vários termos de modelagem da informação.

Acrónimo	Significado	Tradução (português)
BIM	Building Information Modelling	Modelagem da Informação da Construção
BrIM	Bridge Information Modelling	Modelagem da Informação de Pontes
CAD	Computer Aided Design	Desenho Assistido por Computador
CIM	Civil Integrated Management	Gentão Integrada Civil
CiM	Civil Information Modelling	Modelagem da Informação Civil
CIM	Construction Information Management	Gestão da Informação da Construção
CIM	Construction Information Modelling	Modelagem da Informação da Construção
VDC	Virtual Design and Construction	Desenho e Construção Virtual

2.1. Categorias BIM para projetos de infraestrutura de transporte

A infraestrutura civil constitui o conjunto de elementos que apoiam as atividades da civilização humana. A mobilidade de transportes constitui um subconjunto da infraestrutura civil, cuja categoria específica pode ser ditada pelo modal a que se enquadra, exemplificando: *"uma estrada pode ser construída em cima de um dique ou represa; os metrôs podem fazer parte do transporte ferroviário e de massa; e estradas podem ser usadas para veículos e pedestres. O modo de transporte também pode ditar qual categoria específica se enquadra"*[10].

Neste sentido, entende-se que as principais categorias relacionadas à infraestrutura de transportes englobam os seguiintes segmentos construtivos: pontes, estradas e rodovias, ferrovias, transporte de massa, túneis, aviação e aeroportos, portos e docas, além de vias para veículos não motorizados e pedestres.

2.2. Níveis de desenvolvimento dos projetos BIM: informações e maturidade

Os níveis de desenvolvimento dos projetos BIM se classificam em:

- Level Of Development (LOD) – nível de detalhe definido pela quantidade de gráficos e informações contidas num determinado modelo;
- Level Of Information (LOI) – nível de informação que descreve a a quantidade de informação não gráfica de determinado modelo.

Os diferentes Níveis de Desenvolvimento (ND) correspondem, cada um, a certo grau de definição e detalhe dos elementos, componentes e materiais dos projetos BIM [11]. A Tabela 2, a seguir representada, apresenta a classificação mundialmente reconhecida dos níveis de maturidade BIM [2].

Tabela 2
Níveis de maturidade BIM.

Maturidade BIM	Descrição
BIM Nível 0	- Elaboração de CAD 2D utilizada; - Processo sem colaboração entre as partes envolvidas.
BIM Nível 1	- Mistura de trabalho de conceito 3D e 2D para elaboração de ap-rovação e documentação; - Compartilhamento eletrônico de dados usando um ambiente de dados comum; - Nenhuma colaboração entre as partes, mas os dados são compartilhados.
BIM Nível 2	- Todas as partes usam seu próprio CAD em modelos (3D), não necessariamente trabalhando em um modelo único e compartilhado; - Colaboração é usada; - Os dados são trocados entre as partes e informações de design é compartilhada em um formato de arquivo único; - O modelo BIM federaqdo é criado. Cada parte pode combinar dados para fazer os cheques.
BIM Nível 3	- Colaboração total entre todas as disciplinas utilizando um único projeto compartilhado de modelo em um repositório centralizado.

3. Pesquisa e Análise

A pesquisa de cunho exploratório centrou-se no levantamento de artigos científicos e teses relacionadas ao uso do BIM em projetos de infraestrutura. O escopo abrange trabalhos acadêmicos publicados no Brasil relacionados ao uso do BIM em projetos de infraestrutura, especificadamente delimitados para a mobilidade de transportes correlacionados às atividades humanas. Visando conhecimento do panorama atual de publicações acerca do tema, delimitou-se a busca de periódicos publicados por instituições brasileiras de ensino superior. Outra delimitação é a exclusão das técnicas computacionais de modelagem de projetos, tais como análises estatísticas ou probabilísticas.

A pesquisa se atêm ao uso das citações disponibilizadas pelas ferramentas Web of Science (https://www.webofknowledge.com/) e, por conseguinte, SciELO Citation Index (https://search.scielo.org/); conforme as classificações dos periódicos e contribuições acadêmicas publicamente divulgadas. Tais citações também se atêm à plataforma Sucupira, ligada ao portal de periódicos disponibilizados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (http://www.periodicos.capes.gov.br/), fundação vinculada ao Ministério da Educação (MEC) do Brasil.

Devido à metodologia aplicada para coleta e filtragem dos trabalhos publicados, a revisão exclui qualquer pesquisa em andamento não publicada ou divulgada até a sua conclusão. Também exclui da análise os blogs, artigos de revistas, páginas da web e outros tipos de documentos não oficiais, embora possam ser referenciados neste artigo. O método de revisão aborda as quatro etapas descritas a seguir:

- Escolha das fontes do banco de dados e identificação dos periódicos acadêmicos: Web of Science, SciELO e plataforma Sucupira (CAPES);
- Consulta das palavras-chave: i) "BIM em projetos de infraestrutura", ii) "BIM e projetos de infraestrutura" e, iii) "Projetos BIM para infraestrutura";
- Coleta, armazenamento e filtragem dos periódicos relevantes para revisão; e
- Realização da análise sintética de uma tese e cinco artigos.

3.1. Síntese da análise dos periódicos relevantes

Com base nos resultados da coleta de dados, procedeu-se a análise sintética dos periódicos acedêmicos considerados como relevantes à temática relacionada ao uso do BIM em projetos de infraestrutura de transporte, a seguir identificados e resumidos.

3.1.1. Tese: Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM

A proposição de uma estrutura conceitual voltada para o processo da gestão colaborativa de projeto integrado à tecnologia BIM compõe o propósito deste trabalho científico. Por meio da ampla revisão bibliográfica, buscou-se sustentação teórica no conjunto de metodologias aplicáveis ao setor da construção, possibilitando a melhoria dos métodos de trabalho. Indicadores de desempenho também são propostos a fim de medir o desempenho e a qualidade do projeto BIM. Também propõe a reformulação do conceito do Nível de Desenvolvimento ou Detalhe (ND) para Nível de Maturidade (NM), apresentando um sistema de planejamento e controle do processo do projeto BIM, composto pela gestão do programa de necessidades, do nível de desenvolvimento da modelagem e da densidade de interferências [8].

Apesar dos dois testes práticos realizados terem sido aplicados em projetos de edificações, as proposições conceituais e sistêmicas apresentadas também podem ser aplicadas ao processo de modelagem dos projetos de infraestrutura por tratarem de gestão integrada de projetos BIM.

Os resultados encontrados se resumem em: i) necessidade de implementação de um modelo para a gestão de requisitos; ii) desenvolvimento de uma matriz de elementos BIM adequada à realidade brasileira; iii) desenvolvimento de novos indicadores chave de desempenho; validação completa de todos os indicadores propostos na estrutura conceitual; v) necessidade de capacitação profissional, em especial do coordenador de projetos.

3.1.2. Artigo 1 - Aplicação do Building Information Modeling (BIM) em projetos de infraestrutura nas fases pre-completion e/ou post-completion

O trabalho aponta que a aplicação da tecnologia BIM na infraestrutura brasileira demanda grande mudança de paradigma no tocante ao planejamento, à oportunidade e à conveniência da implementação de uma Política Pública. Neste sentido, como hipótese, questiona a efetividade da Estratégia Nacional de Implementação do BIM no âmbito do Governo federal brasileiro, a fim de verificar a promoção de resultados benéficos para a implementação das Políticas em Infraestrutura [15].

Justifica que anualmente o Governo Federal brasileiro investe a bilhões de reais em obras essenciais de infraestrutura, sendo que parte dessas obras são auditadas pelos órgãos de controle (interno e/ou externo). Contudo, tais auditorias apontam a comum ocorrência de irregularidades, as quais se incluem problemas relacionados à concepção, avaliação da viabilidade técnica, econômica e ambiental, além de deficiências na fiscalização; o que decorrem em paralisações e atrasos das obras.

Como resultado da pesquisa, conclui que a implementação do conjunto de tecnologias BIM aliada à integração dos processos na área da infraestrutura brasileira, de modo colaborativo, pode proporcionar a antecipação de simulações, bem como das análises quantitativas, estimativas e econômicas, contribuindo para a efetividade da tomada de decisões antes da execução da construção do empreendimento – constituindo a grande mudança do paradigma governamental. Acrescenta que a antecipação das simulações propicia a coordenação simultânea de várias disciplinas (arquitetura, fundação, estrutura, instalações etc.), contribuindo para a prevenção de riscos e possíveis erros, corrigindo inconsistências ainda na fase de planejamento (pre-completion). Acrescenta ainda o desenvolvimento coordenado e colaborativo dos projetos, especificações técnicas e orçamentos, elevando a capacidade de visualização, análise e compatibilização dos elementos em diferentes disciplinas.

No âmbito da auditoria, controle e fiscalização pública de projetos de infraestrutura, conclui a efetividade da utilização da tecnologia BIM, o que coaduna com a proposição estabelecida pela Estratégia BIM BR, em relação: i) aos projetos executivos e/ou construtivos; ii) extrapolação das dimensões de projeto em duas dimensões (2D) para de 3D (modelo tridimensional), para o 4D (3D + planejamento físico da obra) e 5D (4D + orçamento). Esclarece que *"na fase post-completion é possível inferir todas as informações utilizadas em todo o ciclo de vida"*. Acrescenta que há muito o que se

implantar no Brasil, principalmente em relação à disruptura tecnológica no setor da construção e a interoperacionalidade do tripé BIM: Pessoas x Tecnologia x Processos.

3.1.3. Artigo 2 - Análise de casos práticos da adoção do processo BIM em empreendimentos de infraestrutura

Esse artigo analisa e comenta o estágio atual da aplicação de processos BIM em empreendimentos de infraestrutura, com ênfase em estruturas subterrâneas (túneis), a partir dos conceitos difundidos na área de edificações. Observa a evolução do incremento de publicações relacionadas aos processos BIM, possibilitando a modelagem para novos tipos de objetos aplicados à infraestrutura [16].

Elucida que, internacionalmente, a aplicação dos processos BIM vem sendo adaptada à realidade atual disponível em cada país, sendo que no Brasil encontra-se em fase inicial de aplicação na área de infraestrutura. Salienta que os benefícios resultam na melhoria dos projetos, *"que vão desde maior precisão nas quantidades, soluções factíveis de serem construídas, reutilização de componentes, maior qualidade na informação a ser utilizada na fase de operação, melhor planejamento e menores prazos e custos de execução do empreendimento, dentre outros."* Como resultado, ressalta a necessidade de evolução do modelo aberto, intitulado Industry Foundation Classes (IFC), como sendo de fundamental importância para a disseminação dos processos BIM em infraestrutura, por permitir o intercâmbio de um modelo colaborativo sem perda ou distorção de dados ou informação. Acrescenta ainda que *"os proprietários dos empreendimentos de infraestrutura devem demandar a aplicação do BIM em seus empreendimentos e desenvolver a cultura de utilização dos produtos BIM na etapa de operação."*

3.1.4. Artigo 3 – Aplicação da metodologia BIM para estudos de obras de infraestrutura de transporte: estudo de caso-projeto de pavimentação da rodovia SC-436

Esse trabalho avalia a utilização da metodologia BIM na área de infraestrutura, por meio de estudo de caso do projeto de pavimentação da rodovia brasileira denominada SC-436. Com base na importância e na grande demanda brasileira pelas obras de infraestrutura, realiza a revisão bibliográfica acerca do tema e propõe um modelo de fluxo de trabalho com a utilização de algumas das ferramentas BIM disponíveis no mercado [17].

Salienta que as obras de infraestrutura, tais como de sistemas viários, drenagem, abastecimento de água e de energia, entre outras, constituem os principais gargalos enfrentados por países em desenvolvimento, devido à sua complexidade e elevada demanda de investimentos. Neste sentido, a busca por automação e inovação na indústria da construção civil se torna preeminente.

Como resultado, conclui que a aplicação do BIM se mostra muito promissora para a elaboração de projetos conceituais e executivos relacionados ao modal rodoviário. Facilita a extração de dados, como levantamento de quantitativos e documentações

afetas aos elementos, além de propiciar a visualização integral da modelagem rodoviária.

Ressalta algumas dificuldades enfrentadas em relação ao fluxo de dados ao longo da modelagem dos projetos, devido ao tamanho do empreendimento. Acrescenta outra dificuldade enfrentada pela *"incipiência do tema em trabalhos acadêmicos, tornando o aprendizado da metodologia e ferramentas demasiadamente prolongados."* Contudo, observa que o grande interesse acerca do tema, não só para profissionais atuantes na área como para a sociedade em geral, uma vez que as obras rodoviárias envolvem aspectos relacionados ao custo, produtividade e qualidade.

3.1.5. Artigo 4 - Proposta de um plano de execução BIM para a diretoria de projetos da superintendência de infraestrutura da UFRN

Em decorrência das metas e prazos estipulados pela Estratégia Nacional de Disseminação da tecnologia BIM no Brasil, o trabalho propõe um Plano de Execução BIM para a Diretoria de Projetos da Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Por meio de um estudo de caso desenvolvido nesta organização brasileira, desenvolve um fluxo de processos para adoção do contexto BIM pela Diretoria de Projetos (INFRA) [18].

Profissionais do setor de projetos e de orçamentos desta Superintendência avaliaram o fluxo de processos proposto, quanto a aplicabilidade, clareza, pontos positivos e negativos. O resultado da avaliação permite qualificar o fluxo apresentado como aplicável ao ambiente de trabalho, caracterizando-se como um guia de auxílio e impulsionamento para os profissionais no processo de adoção do BIM nesta organização.

3.1.6. Artigo 5 - Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: o conceito BIM na construção da plataforma SAEPRO

O artigo centra-se na identificação dos benefícios da implantação do BIM no desenvolvimento de um sistema voltado para o gerenciamento de projetos e processos de obras de infraestrutura viária. Objetiva identificar, caracterizar e hierarquizar as reais necessidades de um sistema de informática para suprir as principais demandas dos projetos de obras viárias [19].

Observa que o gerenciamento da interrelação das atividades de uma obra viária é complexo, dependendo das variáveis como porte, o prazo, o custo e a diversidade de agentes envolvidos. Ressalta que a multidisciplinaridade com interdependência é o principal fator associado ao retrabalho, que gera aumento de prazo e de custos. Assim sendo, salienta que *"o desenvolvimento de um sistema deve procurar atender às principais demandas verificadas no setor de projeto e construção de obras de infraestrutura viária. Mais que um conjunto de ferramentas para o cálculo e processamento de diferentes atividades, o sistema deve permitir a integração destas e dos profissionais*

envolvidos, de forma a maximizar os benefícios que a tecnologia da informação (TI)". Conclui que a utilização e apuração da aplicação de modelos em projetos de engenharia é "*vital para a simplificação da realidade e para a redução da escala de representação. A precisão dos mesmos deve ser apurada, de forma a reduzir as diferenças entre estes e a realidade."* Acrescenta que a aplicação do conceito BIM nos *"estudos, projetos, construção/fiscalização, operação e análise de obras de infraestrutura viária têm muito a acrescentar à forma como, ainda hoje, estes processos são realizados. A coordenação, cooperação e integração de etapas e agentes, através de um sistema uno, permite a construção de modelos mais precisos, minimizando falhas e o retrabalho."*

Como resultado associado ao estudo, estabeleceu-se o desenvolvimento de uma plataforma, registrando a utilização de sua versão alfa *"por empresas de consultoria em obras de infraestrutura viária, por instituições acadêmicas nacionais (Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA e Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC) e internacionais (Universidad Nacional del Nordeste – UNNE – Argentina)."* Por fim ressalta que *"a pluralidade de agentes no desenvolvimento dos conceitos, e do próprio sistema, é fator fundamental para a evolução e crescimento deste projeto."*

4. Considerações finais

Partindo da premissa de que o Brasil consiste num país com dimensões continentais ainda em fase de desenvolvimento, a representatividade do vetor da infraestrutura de trasnportes no orçamento governamental é expressiva e superlativa. Embora o Brasil esteja em fase de implantação da metodologia BIM no setor da construção, a Estratégia Nacional para a Disseminação do BIM constitui um significativo avanço e incentivo setorial.

A adoção do BIM na indústria da construção é mundialemte considerada como uma mudança de paradigma que envolve inovações disruptivas. No contexto de se implantar e interligar cidades com infraestrutura cada vez mais inteligente, a adoção de técnicas e tecnologias que promovam a agilidade, precisão e confiabilidade da interoperabilidade de informações torna-se preeminente para todos os agentes envolvidos na cadeia produtiva da infraestrutura de transporte, devido a complexidade e elevada demanda de investimentos.

Os periódicos analisados apontam a representatividade dos benefícios advindos pela adoção da plataforma BIM ao longo de todo ciclo de vida dos empreendimentos de infraestrutura de transporte, na busca da otimização dos prazos e custos, assim como a melhoria da qualidade e produtividade desde as etapas de insepção, concepção, modelagem de projetos, execução e fiscalização, operação e manutenção, até a fase de reabilitação ou demolição. Dessa forma, a automação e inovação na indústria da construção civil se torna preeminente. Contudo, os periódicos elucidam que ainda há de se considerar significativos desafios setoriais para a plena integração do tripé: Tecnologia x Pessoas x Processos – especialmente quanto aos profissionais

qualificados, acessibilidade às capacitações técnicas e amadurecimento do método de trabalho.

Entre os benefícios levantados na revisão bibliográfica, destacam-se as melhorias dos métodos e dos fluxos de trabalho aplicáveis ao ambiente laboral digital multidisciplinar, por meio da gestão colaborativa e integrada dos processos de modelagem de projetos BIM destinados a infraestrutura de transporte. Tais melhorias possibilitam a antecipação de simulações e análises, tanto qualitativas quanto quantitativas, além da gestão de risco e extração de estimativas de custo mais efetivas para a tomada de decisões que antecedem a execução do empreendimento.

Destacam ainda a convergência do consenso voltado para a necessidade de evolução do modelo aberto IFC (Industry Foundation Classes) para a disseminação dos processos BIM em infraestrutura. Esse conceito de modelo aberto permite o intercâmbio projetual de modo colaborativo, sem perda ou distorção de dados e informações; evitando retrabalhos, prevenindo riscos e possíveis inconsistências, ainda na fase de planejamento.

Referências

[1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: Guide to Building Information Modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors.* 1ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2008.

[2] BSI. The British Standards Institution, *Little Book of BIM*, 2019.

[3] A. Niedermaier; et al, *(2017): Allplan. BIM-Compendium. Theory and Practice*. Munique, 2017.

[4] Brasil. Presidência da República. "Decreto Nº 9377". Diário Oficial da União, Seção 1, Página 3, 2018.

[5] NIBS. National Institute of Building Sciences. "United States national building information modeling standard version 1 – part 1: overview, principles, and methodologies, Final Report, The Northern American Chapter of buildingSMART International (bSI)", 2007.

[6] H. Chong; et al. "Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects", 2016.

[7] A. Costin; et al. "Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations". Department of Civil, Structural and Environmental Engineering. The State University of New York at Buffalo, United States of America. Automation in Construction 94, pp. 257-281, 2018.

[8] L. Manzione. "Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM". Tese de Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2013.

[9] A. Costin. "A New Methodology for Interoperability of heterogeneous Bridge Information Models". Dissertation – School of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, 2016.

[10] J. Cheng; et al. "Analytical review and evaluation of civil information modeling", 2016.

[11] ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. "Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC". Brasília, 2017.

[12] CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. "Coletânea implementação BIM para construtoras e incorporadoras". Brasília, 2016.

[13] Autodesk. "Desmistificando o BIM com foco em Infraestrutura". Brasil. 2017.

[14] M. Antunes; et al. "Introdução à Pesquisa", 2018.

[15] L. Castro, "Aplicação do Building Information Modeling (BIM) em Projetos de Infraestrutura nas Fases Pre-completion e/ou Post-Completion". Escola Nacional de Administração Pública, 2019.

[16] E. Santos; et al. "Análise de casos práticos da adoção do processo BIM em empreendimentos de infraestrutura". Universidade de São Paulo, 2017.

[17] J. Lima, "Aplicação da metodologia BIM para estudos de obras de infraestrutura de transporte: estudo de caso-projeto de pavimentação da rodovia SC-436". Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

[18] K. Oliveira, "Proposta de um plano de execução BIM para a diretoria de projetos da Superintendência de Infraestrutura da UFRN". Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

[19] D. Garcia; et al, "Diretrizes para o Desenvolvimento de um Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários: o conceito BIM na construção da plataforma SAEPRO". Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

Industrialização de instalações de edifícios – BIM e pré-construção modular

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.26

Daniel Vale[1], **João Pedro Mendonça**[1], **Miguel Azenha**[1], **Miguel Pires**[2]

[1] *Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Guimarães*

[2] *Casais – Engenharia e Construção, Braga*

Resumo

A integração de metodologias BIM já está a produzir efeitos muito positivos na forma de construir em Portugal, mas há ainda muitos caminhos de melhoramento a explorar. Nesse contexto, a implementação BIM no Grupo CASAIS tem contribuído para a melhoria dos processos com impacto direto na redução de prazos, mitigação de erros no fabrico e incompatibilidades em fase de obra bem como impactos na consequente evolução tecnológica. Por forma a evoluir na sua capacidade e valências BIM, a empresa está neste momento a investir significativamente no núcleo de Pré-Construção.

A Pré-Construção, com recurso às técnicas de Multi Trade Prefabrication (MTP), assume um papel crucial na industrialização da construção, uma vez que permite o desenvolvimento de diferentes atividades em simultâneo e possibilita a sistematização de tarefas comuns a diferentes projetos de construção, conduzindo à redução do tempo total de trabalho.

No presente estudo aborda-se a implementação das técnicas de Pré-Fabricação e Construção Modular direcionadas para os sistemas MEP, num trecho de um corredor de um edifício, verificando os prós e os contras deste processo construtivo.

1. BIM nos Sistemas MEP – Mechanical Eletrical and Plumbing

Os sistemas mecânicos, elétricos e de águas, comummente conhecidos como sistemas MEP, são sistemas que regulam a temperatura ambiente e conduzem redes de águas e esgotos. Os sistemas MEP representam uma parte substancial de um edifício e influenciam diretamente a sua eficiência, segurança e futuro comportamento energético. Estes projetos englobam o dimensionamento das redes e a definição dos locais dos diferentes componentes das infraestruturas, que por vezes apresentam um espaço reduzido, onde é fundamental evitar problemas de interferências multidisciplinares, respeitando o projeto diversificado e respetivos critérios operacionais. Em obras especiais, como aeroportos e estações férreas, a instalação dos sistemas MEP representam 20%-40% do custo total de obra e ocupam mais de 50% da duração total de construção do edifício [1].

Os projetos de infraestruturas MEP tornaram-se bastante complexos por forma a darem resposta às necessidades do edifício e a *designs* sofisticados, principalmente quando se trata de obras "high-tech" e infraestruturas de grande escala, como hotéis ou centros hospitalares. Assim, a coordenação dos sistemas MEP tornou-se o maior desafio para as equipas coordenadoras e recorre às suas capacidades de visualização 3D. Apesar do seu elevado grau de complexidade, estes sistemas desenvolvem-se num espaço limitado e invisível ao utilizador comum, regendo-se por critérios rigorosos de conceção, construção e manutenção [2].

1.1. Coordenação de projetos MEP

A coordenação MEP é um processo iterativo e baseado na experiência, necessitando de tempo e recursos humanos consideráveis. A coordenação dos sistemas MEP é, para muitos profissionais da indústria da construção, considerada uma das tarefas mais desafiantes no processo de desenvolvimento de um projeto de construção, face à elevada complexidade das configurações de cada sistema, aos requisitos de especialidade e às restrições específicas de cada obra.

Em 2013, um estudo levado a cabo por Ghang Lee e Jonghoon "Walter" Kim, apresentava a comparação entre as estratégias de coordenação paralela e coordenação sequencial, nos projetos MEP. O estudo revelou que, para um mesmo projeto, a estratégia de coordenação sequencial consegue ser três vezes mais rápida que a coordenação paralela. Em muitos casos, a expressão "processo paralelo" é indicativo de que se trata de um processo "eficiente". Contudo, na coordenação MEP, dá-se prioridade ao processo de coordenação sequencial, pois é mais efetiva [3] , [4].

1.2. Benefícios da implementação BIM nos projetos MEP

A implementação de modelos de informação nas práticas de trabalho promove alterações significativas. A modelação virtual 3D e a introdução de BIM permitem antever

decisões de projeto desde as fases preliminares do processo construtivo, o que conduzirá a um número de vantagens considerável [5].

2. Pré-Fabricação e Construção Modular

Do ponto de vista industrial, a Pré-Fabricação está associada ao conceito de estandardização, um processo de produção que permite a produção em massa de objetos ou componentes de uma forma otimizada e com a redução efetiva de desperdícios associados à produção [6]. Para alguns autores, a industrialização define-se como sendo o somatório de racionalizar, mecanizar e automatizar [7]. A Pré-Fabricação é um método construtivo alternativo ao tradicional. Trata-se de uma forma de construção segura, económica, durável, sustentável e arquitetonicamente versátil. É uma forma industrializada de construção com diversas vantagens, uma vez que permite incorporar, de forma mais rápida, económica e adequada a inovação em materiais, sistemas e processos. A produção em fábrica permite processos de fabrico racionais e eficientes, controlo de qualidade, trabalhadores qualificados, repartição de tarefas e menor custo de obra por m^2, face à automação do processo de produção [8].

O uso da Pré-Fabricação para uma construção de edifícios mais rápida e eficiente é um dos tópicos mais estudados na indústria da construção, a nível mundial. A utilização de ferramentas BIM providencia a oportunidade de coordenar diferentes equipas de trabalho para um Pré-Fabricação mais eficaz.

Todavia, alguns estudos sugerem que a Pré-Fabricação também potencia o aumento dos custos e da duração do projeto, devido ao elevado grau de produção, transporte e instalação, para além das dificuldades de implementação, especialmente quando os detalhes da Pré-Fabricação não se encontram explanados no projeto ou quando os operados não estão familiarizados com os processos de produção. Este método de construção requer um alto nível de coordenação entre equipas, o que poderá não ser economicamente viável [9], [10]. Em 2017, num estudo levado a cabo por Hoover *et al*, afirma-se que mais de 50% de empresas de construção reportaram que a Pré-Fabricação é ineficiente [11].

Apesar das contrariedades que a Pré-Fabricação aparenta, é visível que o principal problema da sua implementação explica-se pela inércia à mudança de mentalidade e de modelo de produção [12]. Erradamente, o preço de um módulo ainda é o critério principal para a tomada de decisões. Deve-se ter em conta o valor global, pois o seu uso estimula: a rápida instalação em obra, a redução de acidentes de trabalho, a diminuição de desperdícios de material e a melhoria do controlo de qualidade [13].

Tendo em conta as possibilidades identificadas aos processos de Pré-Construção e Pré-Fabricação, bem como as oportunidades oferecidas pelas metodologias BIM, o presente trabalho, realizado no Núcleo de Pré-Construção do Grupo Casais, focou-se num caso de estudo real de uma zona densa de redes MEP localizadas em corredor de um Hotel.

3. Caso de estudo – Desenvolvimento de um módulo de corredor

Este caso de estudo surge com o intuito de aprimorar a Pré-Construção Modular direcionada para os sistemas MEP, com o estabelecimento de alguns princípios para a criação de *racks* MEP, apresentando uma cartilha de boas práticas de disposição e montagem dos diversos constituintes mecânicos, hidráulicos e elétricos. Para a utilização de módulos prefabricados, dever-se-á, primeiramente, identificar as áreas suscetíveis à sua implementação. A adoção de prefabricação MEP em zonas críticas, com elevado grau de densidade em termos de serviços MEP, promove um aumento da produtividade.

A modelação foi efetuada com recurso ao software *Autodesk Revit* e, uma vez que se pretendia alcançar um grau de rigor e de grande proximidade entre a informação modelada e o que virá a ser executado em obra, para garantir a fiabilidade geométrica dos elementos, estabeleceu-se como escolha primordial que as famílias dos produtos prescritos deveriam provir diretamente dos fabricantes. Só na impossibilidade da sua utilização é que se recorreu à criação de famílias. No caso de estudo, foram utilizados vários objetos paramétricos de diversas bibliotecas, tendo os mesmos sido retirados gratuitamente de sítios como o *BIMmarket*, o *BIMobject*, o *MEPcontent*, o *BIM&CO*, o *MagiCAD* e o *Bimothèque*.

O módulo de corredor foi desenvolvido de forma iterativa, tendo-se servido das vantagens da modelação paramétrica para direcionar o modelo para o processo de produção, sistematizando as tarefas principais como listagens de material e orientações para montagem do módulo MEP.

3.1. Caraterização do empreendimento e descrição do projeto

O empreendimento trata-se de um complexo destinado à habitação, pertencente ao Grupo B&B Hotels e que tem como principal investidor e responsável pela construção o Grupo CASAIS. O B&B Hotel Porto Gaia, que conta com o trabalho colaborativo entre as equipas de projeto do Grupo Casais e do Arq. M. Fernando Rocha (URBIS), é uma unidade hoteleira cuja área total de construção é de 12782,70 m^2. O Hotel dispunha de modelos BIM da Arquitetura e das Estruturas, facilitando os trabalhos aqui reportados. O projeto MEP original existente foi revisto no presente trabalho, pelo que não se volta a fazer menção ao mesmo no presente artigo (por ser obsoleto em relação ao que é apresentado).

Figura 1
Representação 3D do edifício B&B Hotel Porto Gaia.

Com auxílio de plataforma BIM, procura-se criar um *rack* capaz de suportar todos os diferentes componentes MEP, englobando as instalações mecânicas, elétricas, as tubulações hidráulicas e todos os seus suportes, numa zona crítica do corredor de hotel. O objetivo passa por padronizar e sistematizar uma das zonas mais complexas do edifício, bem como reduzir o tempo despendido em obra e os custos associados.

A zona do corredor em estudo foi selecionada por apresentar uma elevada densidade de sistemas MEP, dado tratar-se do local onde ocorre a aglomeração das condutas de extração e insuflação de ar do piso 2, acrescentando os restantes componentes dos sistemas hidráulico e elétrico (secção assinalada a vermelho na Figura 2). Esta modularização de uma das zonas mais críticas do corredor permite que, futuramente, a mesma estrutura do *rack* seja facilmente ajustável a zonas mais simples.

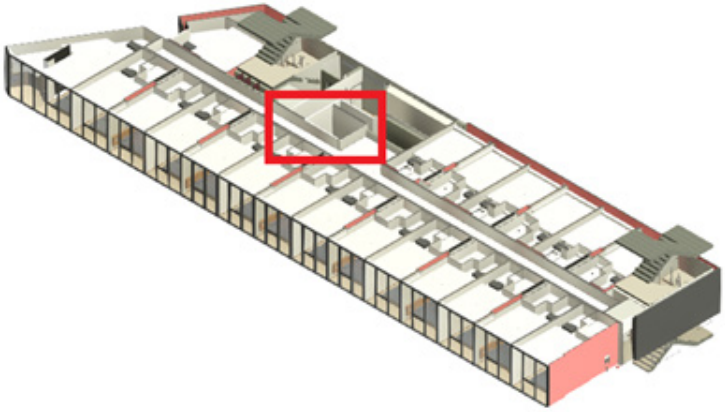


Figura 2
Piso 2 do B&B Hotel Porto Gaia. A secção assinalada a vermelho é a que foi alvo de estudo.

3.2. Dimensionamento do módulo e disposição dos constituintes de cada instalação

Com base nos projetos/modelos de Arquitetura e Estruturas e pela junção dos seus submodelos, verificou-se que a disposição dos sistemas MEP seria sobre o teto falso do Piso 2. Para além de suportar os elementos das especialidades, o módulo deve ainda suster o teto falso. A plataforma de modelação selecionada para o estudo aqui apresentado foi o Revit 2020.

A Figura 3 esquematiza a disposição proposta para os vários sistemas que compõem o módulo, sendo que os parágrafos seguintes providenciam a justificação para as opções tomadas.

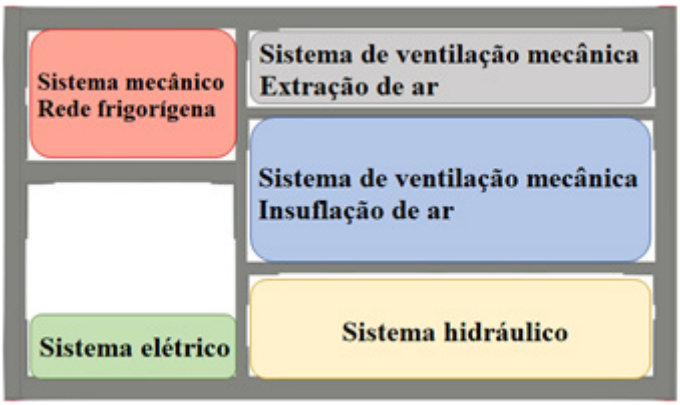


Figura 3
Esquematização da disposição dos sistemas integrantes do módulo MEP de um corredor.

No que concerne às instalações elétricas, é necessário incorporar no módulo prefabricado os caminhos de cabos (esteira) que suportem toda a cablagem, bem como os seus acessórios; as instalações hidráulicas dizem respeito ao abastecimento de água quente, água fria e retorno como também ao abastecimento de água para incêndio, com recurso à coluna húmida para os sprinklers e coluna seca, tornando-se fulcral a disposição assertiva de todas as tubagens; as instalações mecânicas, referentes à insuflação e à extração de ar e à rede frigorígena, ocupam grande parte do volume do *rack*, pelo que o mau posicionamento das condutas e caminhos de cobre impossibilitará a incorporação dos restantes componentes no módulo.

Por se tratar dos elementos mais volumosos do *rack* e pela sua reduzida necessidade de manutenção, as condutas do sistema de ventilação são afixadas na parte superior do módulo. No que diz respeito ao sistema hidráulico, há a necessidade de direcionar as tubagens para as diversas divisões. Uma vez que as tubagens estão expostas na parte inferior do módulo, a sua ramificação de forma horizontal não é possível, pois entra em colisão com as tubagens solidárias. Assim, para que a derivação se dê, recorre-se a picagens. A colocação das tubagens à parte inferior do módulo dá-se pelo facto de se tratarem de elementos mais suscetíveis de operações de manutenção e para facilitar a união entre *racks*. No abastecimento de água contra incêndio, face à impossibilidade de dispor todas as tubagens num mesmo plano, colocou-se a coluna seca suspensa à calha superior do módulo, sofrendo um desvio por forma a evitar uma interferência física com uma das condutas de insuflação de ar.

A esteira de cabos deve ser colocada num local com fácil acesso, pois é em obra que os cabos elétricos são passados ao longo dos módulos do corredor. Portanto, o operador terá que ter acessibilidade e espaço suficientes para manusear a cabelagem e fixá-la de modo correto e seguro.

Na disposição dos componentes dos diversos sistemas no módulo, foram várias as interferências que ocorreram. A resolução destes pontos de conflito foi efetuada de

forma manual (i.e. sem apoio específico de automatismos da plataforma de modelação), tendo-se seguido os seguintes princípios: verificação da existência de um espaço mínimo para que os objetos em conflito sejam realocados, respeitando o espaçamento mínimo e as considerações de montagem e o redimensionamento dos equipamentos até que as interferências sejam inibidas. Por vezes, acabam por surgir interferências que são aceitáveis, uma vez que não impossibilitam a montagem do módulo. Nestes casos, deve-se eleger a solução que apresente o menor número de interferências aceitáveis e os componentes responsáveis por tais conflitos deverão ser montados à posteriori em obra. O *rack* é subdividido em secções a cada metro de comprimento, levando a que em determinadas situações seja imperativa a translação de alguns componentes dos sistemas ou o redimensionamento das calhas de instalação para que as interferências cessem, como foram casos das condutas de ventilação mecânica, que colidiram com alguns dos perfis verticais do módulo.

Inicialmente, procurou-se efetuar um redimensionamento das calhas de instalação, como se verifica na Figura 4(c), tendo-se criado uma consola de calhas que abraçasse ambas as condutas responsáveis pela insuflação de ar. Contudo, apesar do conflito ter sido resolvido, esta solução obrigaria a um grande trabalho de fabricação e ao desperdício de material. A solução que melhor respondia às necessidades encontra-se na Figura 4(d), em que as condutas se encontram suspensas com recurso a varões M8 e calhas de instalação HILTI MQ-21,5.

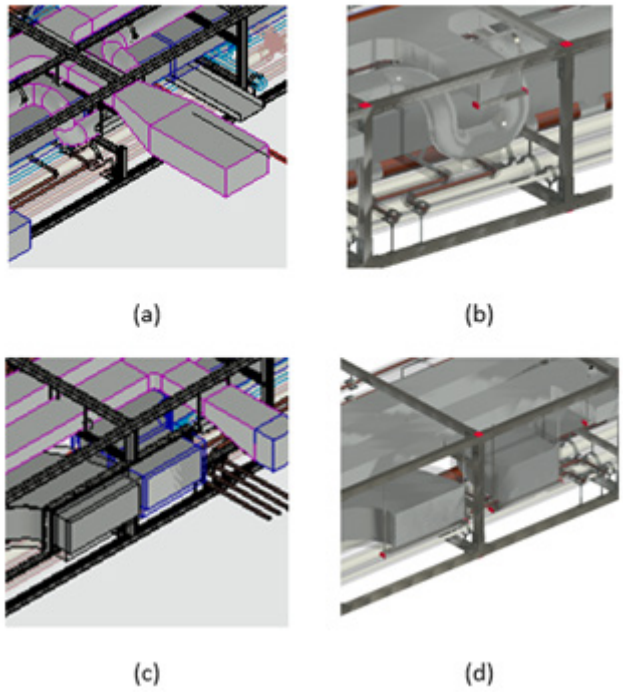


Figura 4
Pormenorização de algumas das interferências ocorridas durante a construção da estrutura do módulo. Em 4(a) e (c) observam-se conflitos identificados. Em 4(b) e 4(d) encontra-se as disposições obtidas após a resolução dos conflitos.

3.3. Construção do módulo

Na Pré-Fabricação convencional, de acordo com as especificações do projeto, são designados sistemas de suporte específicos para cada uma das disciplinas. No caso das técnicas de MTP, um mesmo suporte deve servir de apoio a diferentes elemen-

tos das várias disciplinas que incorporam o *rack*. Assim, no dimensionamento do suporte estrutural, deve-se ter em consideração não só a fixação dos componentes como também permitir um dado espaço de trabalho para que os operadores consigam montar certos componentes e realizar operações de manutenção ao *rack*. Para a criação do módulo MEP, é fulcral a correta seleção do tipo de perfil a ser utilizado na sua estrutura.

Para análise e seleção do tipo de perfil ideal, criaram-se duas estruturas metálicas distintas para o módulo MEP: uma com recurso a componentes direcionados para a Pré-Construção e Construção Modular, fazendo uso dos sistemas de calhas de instalação e ligadores metálicos disponibilizados pela HILTI, e outro utilizando perfis de secção transversal quadrada, os denominados tubos FACAR. Para a modelação da primeira solução fez-se uso de objetos paramétricos e na segunda houve a necessidade de criação de uma classe/família de perfis.

Ora, a calha de instalação galvanizada MQ com 41 mm de altura para aplicações de cargas médias, foi a selecionada para a estrutura global do módulo, na solução HILTI. Os perfis transversais têm 1200 mm, pelo que o somatório deste comprimento com a largura dos perfis MQ-41 perfaz um total de 1282 mm, tratando-se da largura total do *rack*. O módulo é seccionado de metro em metro, por forma a viabilizar uma boa fixação dos componentes mecânicos. Assim, uma vez que se utilizam 6 calhas de 1000 mm cada, o comprimento total do módulo é de 6287 mm (6000 mm + 4 x 41 mm). A altura do módulo (750 mm) foi definida considerando o espaço sobre o teto falso e a largura (6287 mm) tendo em consideração o espaço de trabalho que os operadores necessitam.

Idealmente, os módulos MEP de um corredor devem ter um comprimento de acordo com a dimensão estandardizada das tubagens que este suporta. Por exemplo, as tubagens das instalações hidráulicas têm um comprimento standard de 5 metros, o que levaria a que o *rack* tivesse 4 metros de comprimento, considerando que a união entre módulos adjacentes se dá com o espaçamento de 1 metro. Contudo, no caso de estudo, para o dimensionamento da estrutura do módulo, tiveram-se em conta as calhas de suporte, uma vez que os perfis MQ-41 são comercializados em comprimentos estandardizados de 2 metros, 3 metros e 6 metros. Para além disso, as tubagens presentes no *rack*, na sua maioria, têm picagens, pelo que o tubo teria que inevitavelmente ser cortado para o comprimento necessário. Outro fator preponderante para o dimensionamento do módulo ter sido efetuado considerando o comprimento de calha de suporte e não o da tubagem foi o preço, em que o do primeiro é bastante superior ao do segundo, por metro. Na Figura 5 encontra-se o módulo desenvolvido com recurso aos componentes HILTI.

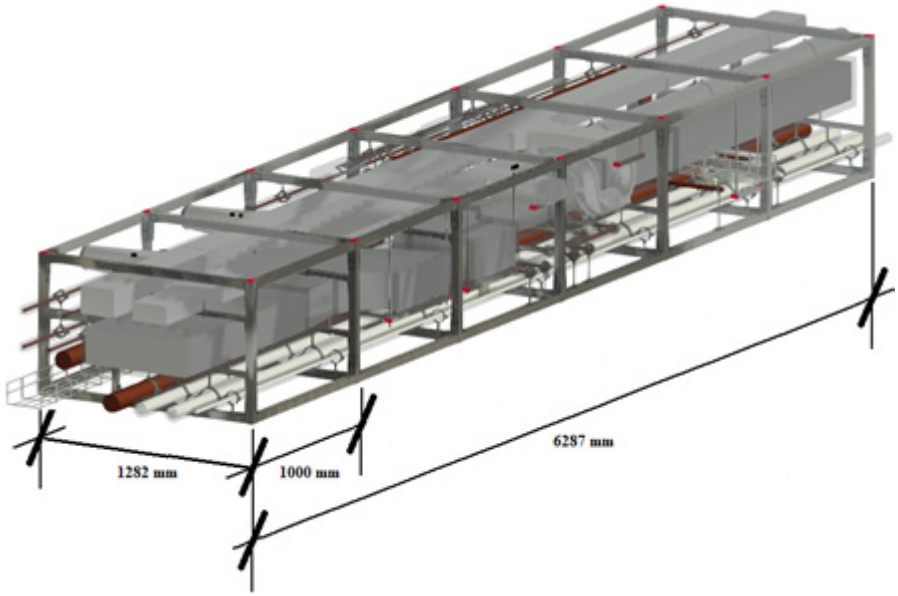


Figura 5
Módulo MEP desenvolvido com recurso a componentes HILTI.

O modelo direcionado para a construção modular na sua totalidade, com recurso aos componentes HILTI, permite uma montagem rápida, segura e eficiente do módulo MEP do corredor. Relativamente ao uso de perfis metálicos de secção transversal quadrada 40x40x2 mm para a construção do módulo, este promove uma pré-fabricação mais morosa e inibe a modularização.

A criação de um módulo com o tubo FACAR foi efetuada pelo facto de o protótipo final do *rack*, totalmente construído com calhas de instalação HILTI, apresentar um custo de compra de material impraticável, para a realidade da Pré-Construção.

No que diz respeito ao *rack* construído com os componentes HILTI, face à facilidade de manuseio e assemblagem das peças, é possível uma montagem mais rápida e segura, dado que as calhas de instalação apresentam orifícios direcionados para a inserção dos elementos de suporte dos componentes dos sistemas mecânico, hidráulico e elétrico. Em adição, esta solução incentiva a Modularização uma vez que, por se tratar de elementos com uma elevada facilidade de montagem, permite o ajustamento das calhas de suporte de acordo com a densidade dos sistemas MEP.

A estrutura metálica construída com os perfis HILTI é fracionada de metro em metro, face ao comprimento que as calhas apresentam, havendo a necessidade de se cortar o perfil para posterior ligação metálica com as vigas transversais. Esta necessidade de corte das calhas para posterior união é uma grande desvantagem, pois obriga à utilização de um grande número de chapas metálicas de união, peças estas que apresentam um custo elevado. Contudo, para além do corte dos perfis, não há outra tarefa que necessite de especial atenção na construção do módulo, para além da correta disposição dos componentes dos sistemas MEP.

Noutro plano, um *rack* que seja totalmente desenvolvido com tubo FACAR, torna-se uma solução bastante mais económica, mas impossibilita a modularização, dado que as uniões metálicas se dão por soldadura. Este tipo de perfil é comercializado em

grandes dimensões, podendo ser comprado em grande escala e, em ambiente fabril, montar-se uma linha de produção para o corte do mesmo. Ao contrário das calhas HILTI, o problema relacionado com os desperdícios de material é diminuto, dado que o processo de soldadura facilita o reaproveitamento.

As grandes desvantagens da utilização do tubo FACAR são: utilização de soldadura para as uniões metálicas, o que obriga à necessidade de operadores especializados; obrigatoriedade da furação dos perfis após terem sido soldados, para que os suportes dos componentes dos sistemas MEP, como as tubagens e as condutas circulares, sejam afixados com recurso a varões roscados, anilhas, porcas e contraporcas; a impossibilidade de implementação de uma solução modular, uma vez que a utilização da soldadura não permite a alteração estrutural do módulo.

Na Figura 6 compara-se o custo de aquisição e de montagem da estrutura do módulo MEP. Como é possível verificar, a utilização de calhas direcionadas para a pré-fabricação tem um custo elevadíssimo, mesmo com um desconto empresarial de 40%. No que diz respeito à solução que faz uso de tubo FACAR, verifica-se que o principal gasto a união metálica efetuada por soldadura, como seria de esperar. Para a obtenção do custo de soldadura, considerou-se que um soldador com experiência demora, em média, 5 minutos para limpar o material, garantir o alinhamento da esquadria, efetuar a soldadura e aplicar um tratamento contra a corrasão do aço galvanizado após a união metálica ter sido efetuada, com um custo associado de 25€/hora.

Para além da montagem da estrutura do módulo MEP, existem custos associados à montagem dos componentes dos diversos sistemas MEP, que não foram considerados tendo em consideração que integram ambas as soluções (com a agravante de, no caso da solução de tubo FACAR, haver a necessidade da perfuração dos perfis para acoplar os suportes).

Retira-se assim que, embora a solução que recorre a perfis metálicos de secção transversal quadrada 40x40x2 mm apresente um custo de produção inferior à solução que faz uso de perfis HILTI direcionados para a Pré-Construção Modular, o tempo de montagem e preparação do *rack* é significativamente superior, face aos processos de soldadura e furação do tubo FACAR.

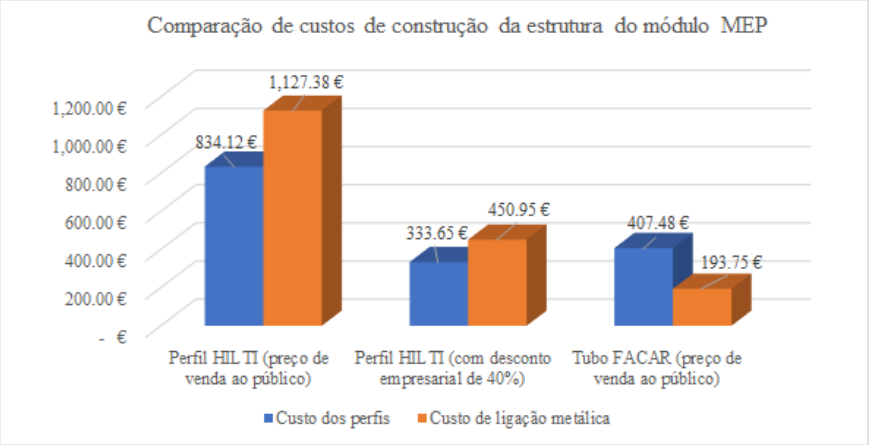


Figura 6
Comparação de custos de construção da estrutura do módulo MEP.

3. Considerações finais

O presente artigo apresentou o recurso a metodologias BIM para atingir uma solução viável de modularização de uma das partes mais complexas de um corredor de Hotel, onde a densidade dos sistemas MEP era bastante elevada. O desenvolvimento da estrutura metálica do *rack*, a implementação dos suportes a cada um dos componentes dos sistemas integrantes e a resolução de interferências entre elementos foram realizados de forma manual. Com o desenvolvimento deste estudo, percebeu-se a importância do trabalho colaborativo no processo de Pré-Construção dos sistemas MEP e a necessidade de implementação de *softwares* que potenciem a criação de módulos automaticamente, sem que haja a necessidade destes terem de ser manualmente desenvolvidos, como foi o caso. Ademais a verificação automática/assistida permite ao engenheiro responsável antecipar e prevenir erros na fase precoce de Pré-Construção.

Este processo poderá, no futuro, ser automatizado com recurso ferramentas atualmente disponíveis para a coordenação de projetos, análise de interferências, resolução de conflitos em coordenação com ferramentas especializadas para MEP como é o caso do *eVolveMEP* para a divisão de sistemas MEP completos em módulos e redirecionar o projeto para a Pré-Construção, obtendo-se todas as informações necessárias à fabricação total do *rack*.

Contudo, apesar destas barreiras, retiraram-se alguns pontos chave para trabalhos futuros, tendo-se percebido que a construção modular dos sistemas MEP deve ser previamente ponderada e debatida em toda a extensão da equipa de trabalho, uma vez que nem sempre a sua implementação poderá ser benéfica, quando comparada com a construção clássica. No caso particular em estudo, a criação de um módulo que desse resposta à elevada densidade dos sistemas MEP na região do corredor era algo a ter em conta, face ao tempo de implementação em obra descartado. Contudo, em casos onde a densidade dos sistemas MEP é reduzida, todo o processo de coordenação das equipas de trabalho, projeto e criação do *rack* poderá não ser vantajoso.

No que concerne à disposição dos elementos dos sistemas no módulo, delinearam-se princípios básicos de construção, por forma a dinamizar o processo construtivo.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020.

Referências

[1] Z. Z. Hu, J. P. Zhang, F. Q. Yu, P. L. Tian, and X. S. Xiang, "Construction and facility management of large MEP projects using a multi-scale building information

model", Adv. Eng. Softw., vol. 100, pp. 215-230, 2016, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.07.006.

[2] J. Clemente and N. Cachadinha, "Building Information Modeling como Ferramenta de Visualização de Realidade Aumentada em Obras de Reabilitação – Um Caso De Estudo", pp. 1-13, 2012, [Online]. Available: http://www.fct.unl.pt.

[3] G. Lee and J. W. Kim, "Parallel vs. Sequential cascading MEP coordination strategies: A pharmaceutical building case study", Autom. Constr., vol. 43, pp. 170--179, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.004.

[4] A. Nekouvaght Tak, H. Taghaddos, A. Mousaei, and U. (Rick) Hermann, "Evaluating industrial modularization strategies: Local vs. overseas fabrication", Autom. Constr., vol. 114, no. May 2019, p. 103175, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103175.

[5] Winderson Soares Matos, "BIM: entendendo a curva de MacLeamy e como funciona basicamente o fluxo de trabalho em BIM", engenhariaeetc, 2015. https://engenhariaeetc.wordpress.com/2015/09/21/bim-entendendo-a-curva-de--macleamy-e-como-funciona-basicamente-o-fluxo-de-trabalho-em-bim/ (accessed May 04, 2021).

[6] P. D. M. da Silva, "Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich", pp. 1-126, 2012.

[7] R. E. M. Leite, "Métodos Construtivos de Edifícios – Comparação entre Pré-Fabricação e Armado," pp. 1-175, 2015, [Online]. Available: https://www.google.com/l?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjmh9vlsI_lAhVxSxUIHanqC1QQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fpdfs.semanticscholar.org%2F9891%2F5850b1cb32671900d8f1dcf6669fe2feca3c.pdf&usg=AOvVaw0gc44eEE5qTRy6Rg6pqlBch.

[8] C. Chastre, "Construção, inovação e Pré-Fabricação em betão", Construção Mag., vol. 88, no. Novembro/Dezembro, pp. 59-61, 2018.

[9] S. Jang, "Comparative analysis of multi-trade prefabrication construction methods", J. Asian Archit. Build. Eng., vol. 17, no. 3, pp. 503-509, 2018, doi: 10.3130/jaabe.17.503.

[10] S. Jang and G. Lee, "Process, productivity, and economic analyses of BIM–based multi-trade prefabrication — A case study", Autom. Constr., vol. 89, no. March 2017, pp. 86-98, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2017.12.035.

[11] S. Hoover, P. Trombitas, and E. Cowles, "Prefabrication: The changing face of engineering and construction", 2017 FMI/BIMForum Prefabr. Surv., p. 43, 2017, [Online]. Available: https://www.fminet.com/wp-content/uploads/2017/02/PrefabricationSurvey_2017.pdf.

[12] O. Lavikka, R., Chauhan, K., Peltokorpi, A., & Seppänen, "Fostering prefabrication in construction projects – case MEP in Finland", J. Karlshøj, R. Scherer, vol. Proceeding, no. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction, pp. 273-280, 2018.

[13] T. S. Overview, K. Findings, and I. Tools, "Modularization and Offsite Assembly (Best Practice)", no. Figure 6, pp. 1-5, 2017.

Desafios BIM na implementação do plano geral de drenagem de Lisboa

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.27

Tiago Andrade Gomes[1], **Gonçalo Diniz Vieira**[1], **Luís Ribeirinho**[2], **Ricardo Pontes Resende**[3], **António Hipólito**[4], **Francisco Rocha**[5]

[1] *Equipa de projeto para o Plano Geral de Drenagem de Lisboa/ Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa*

[2] *TPF – Consultores De Engenharia E Arquitetura, S.A., Lisboa, https://orcid.org/0000-0002-3486-6326*

[3] *ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, https://orcid.org/0000-0002-2155-5625*

[4] *Mota-Engil SA, Lisboa, https://orcid.org/0000-0002-9662-1308*

[5] *Spie batignolles, Lisboa*

Resumo

Com a finalidade de mitigar as consequências provocadas pelas graves inundações que têm fustigado Lisboa devido a eventos pluviais extremos, a Câmara Municipal de Lisboa promoveu a sua maior obra dos últimos 100 anos, a empreitada de execução dos túneis de drenagem da cidade de Lisboa e intervenções associadas.

Sendo uma obra geotécnica complexa e audaciosa, projetada para um período de vida útil mínimo de 100 anos, não poderia deixar de acompanhar as melhores práticas internacionais e, como tal, está a ser desenvolvida com recurso à metodologia BIM. O concurso público foi preparado tendo em conta que o projeto de execução seria desenvolvido pelo adjudicatário, no regime usualmente conhecido de conceção-construção, e deste modo o projeto está a ser realizado com o apoio de uma equipa experiente em obras geotécnicas e sistemas de informação, constituída pelo empreiteiro (Mota-Engil e Spie Batignolles) e o projetista (LCW, AQUALOGUS, Spie Batignolles e SUEZ), contando com o apoio da fiscalização (TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S.A.) e do Dono de Obra (EPPGDL/CML) e seus consultores (Iscte – Instituto Universitário de Lisboa).

Para retirar a máxima potencialidade desta metodologia, o projeto e os modelos têm evoluído significativamente, facto que só é possível devido à enorme colaboração entre todos os intervenientes, coadunando-se assim com a metodologia adotada. Com uma flexibilidade e evolução próprias de uma metodologia que, em Portugal,

ainda se encontra numa fase de implementação e expansão, regista-se já um avanço significativo em relação às práticas usuais, que culminará no objetivo final de apoiar a manutenção do sistema de drenagem em fase de operação. Durante o processo de preparação e construção esta metodologia permitirá definir e gerir os fluxos de comunicação e informação, assegurar a qualidade, apoiar o planeamento da obra e assegurar que a informação relevante é armazenada no cadastro tridimensional da obra.

O artigo irá abordar os desafios com que a equipa se deparou até ao momento (fase final da conceção) para que os usos mencionados sejam possíveis.

1. Introdução

De acordo com o relatório de 2018, publicado pela Dodge Data & Analytics [1], que avalia o valor do BIM para projetos do setor da água, registou-se uma grande evolução entre os estudos de 2012 e 2017. No primeiro, apenas uma pequena percentagem dos inquiridos considerava o BIM uma mais-valia para os projetos deste setor. No estudo de 2017, projetistas, construtores e donos de obra passaram a considerar que os benefícios do BIM para os projetos do setor da água estavam em linha com os dos restantes setores. Porém, à data do segundo estudo, a utilização do BIM em túneis era considerada invulgar, ainda que uma parte significativa dos inquiridos estimasse aplicar a metodologia a esse tipo de obras nos dois anos seguintes.

O benefício mais valorizado foi a melhoria da colaboração, sendo também referido em diversos casos de estudo que se registou um maior envolvimento do Dono de Obra durante a fase de projeto fruto de uma comunicação mais eficiente.

O trabalho que é apresentado neste artigo foi desenvolvido em conjunto pelas diferentes entidades intervenientes no processo, e visa apresentar os principais desafios BIM na implementação do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, cuja empreitada se materializa, entre outras obras, por dois túneis com extensão de 4,4 km e 1,1 km, respetivamente (marcados a amarelo na Figura 1)

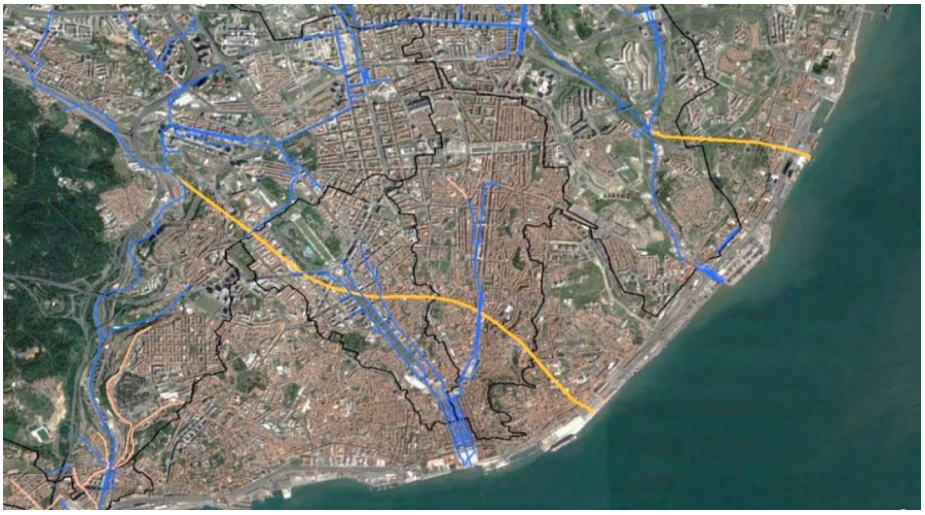


Figura 1
Traçado dos túneis.

2. Enquadramento

2.1. O projeto – PGDL: túneis e obras associadas

Devido à intensificação da precipitação causada pelas alterações climáticas, responsável pelos intensos eventos pluviométricos que periodicamente fustigam a área urbana de Lisboa, causando graves inundações e consequentes prejuízos elevados ao município e seus cidadãos, tornou-se urgente a necessidade de elaborar um plano que permitisse a avaliação e atualização dos sistemas de drenagem. Este, o Plano Geral de Drenagem de Lisboa, assenta sobretudo na realização de uma grande empreitada, que visa resolver 70% a 80% dos problemas provocados pelas inundações na cidade de Lisboa, a *Empreitada de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas*.

Sendo uma obra importante e de grande envergadura, a empreitada de maior investimento lançada pelo município de Lisboa no último século, foi imperativo que na sua conceção, nomeadamente no concurso que lhe deu origem, fossem respeitadas as melhores práticas de engenharia, olhando não só para a produção do empreendimento, mas para todo o seu ciclo de vida. Assim, a introdução da exigência de utilização da metodologia BIM, no concurso público internacional que deu origem a esta empreitada, foi impreterível, tornando-a assim na primeira empreitada promovida pela Câmara Municipal de Lisboa a adotar esta metodologia.

2.2. BIM no Projeto

Considerando o objetivo desta empreitada, de proteger a cidade de Lisboa para o evento pluviométrico do século, o ciclo de vida da mesma torna-se bastante relevante, em particular a fase de manutenção e operação do ativo. Esta relevância incidente sobre a fase de exploração, aliada à inevitabilidade de uma digitalização dos processos, levou a que fosse de natural interesse para a Câmara Municipal de Lisboa a utilização da metodologia BIM na sua conceção.

No entanto, o interesse do Dono de Obra na utilização desta metodologia não se extingue com a fase de manutenção e operação. A otimização da gestão dos trabalhos de conceção e execução da obra no âmbito da empreitada, nomeadamente através da otimização da monitorização, controlo e eventual revisão do planeamento das múltiplas dimensões da mesma, também foram fatores ponderadores na inclusão da exigência do BIM nesta obra.

Estes dois grandes fatores levaram à decisão do Dono de Obra, tendo sido transpostos naturalmente nos Objetivos Gerais, presentes nos requisitos de informação patenteados em concurso.

3. Lançamento do Concurso

Tendo sido decidida a adoção da metodologia BIM para a *Empreitada de Execução dos Túneis de Drenagem da Cidade de Lisboa e Intervenções Associadas*, foi necessário definir os requisitos de informação, que seriam o alicerce do PEB (Plano de Execução BIM).

Dado a natureza particular do concurso em causa, em regime de conceção-construção, e o nível de maturidade, à data, do Dono de Obra, este optou por criar um conjunto de requisitos gerais e técnicos, essenciais ao entendimento dos seus objetivos e exigências, promovendo, no entanto, alguma flexibilidade quanto aos caminhos a tomar e permitindo assim essa gestão aos concorrentes.

Os requisitos de informação foram expressos na especificação técnica ET-CEM 004 patenteada a concurso e debruçaram-se sobre:

- Os objetivos gerais do projeto;
- Os usos BIM;
- Requisitos técnicos, como:
    - Software, Plataformas e formatos (dando sempre abertura à concorrência);
    - Especificações do modelo;
- Sistema de coordenadas a ser adotado;
- Níveis de desenvolvimento da Informação / Dimensões (nomeadamente os LOD);
- Sistema de classificação sendo, no entanto, dado a abertura de escolha do mesmo;
- Algumas especificações relacionadas com o PEB.

Estas exigências definidas na Especificação Técnica, complementaram outras mais genéricas presentes no corpo do Caderno de Encargos.

Após o lançamento do concurso, em fase de esclarecimentos e erros e omissões, foram colocadas questões sobre o que era pretendido do BIM e de que forma este seria executado. As questões levantadas, e a necessária reavaliação do tema para que as respostas fossem dadas, contribuíram para um melhor entendimento da vontade do Dono de Obra e integraram assim as peças de concurso.

4. Aquisição de consultoria especializada em BIM

Finda a análise das propostas e escolhido o adjudicatário do concurso para a empreitada de execução dos túneis de drenagem, foi também lançado um concurso público para a sua fiscalização especializada, tendo sido selecionada a empresa TPF. Dada a elevada importância e complexidade do BIM neste processo, tornou-se necessário e imprescindível assegurar um acompanhamento diligente e minucioso de todos os procedimentos desta metodologia, bem como garantir a qualidade dos modelos recebidos. Assim o Dono de Obra considerou essencial ser assessorado por uma

entidade externa especializada, cuja competência técnica, idoneidade e experiência, nestes temas, permitisse não só ter uma opinião técnica critica e fundamentada, para avaliar e apoiar a aprovação dos elementos que fossem entregues pelo empreiteiro, mas também ter um papel ativo no processo de decisão e acompanhamento, possibilitando assim uma melhor defesa dos interesses do Município, dentro do espírito colaborativo associado à metodologia.

Foi então lançado um procedimento no qual o adjudicatário teria de apoiar o Dono de Obra na análise do PEB proposto pelo adjudicatário, formação inicial da equipa do Dono de Obra, apoio durante o projeto e obra e ainda apoio na entrega final e na integração na solução escolhida para gestão do empreendimento.

A opção pelo ISCTE, com uma equipa dedicada e especializada, tem-se revelado muito acertada não só pelo conhecimento e apoio nesta área como pelas sugestões construtivas que trazem ao processo.

Com a finalização deste processo, foi definido o grupo de entidades envolvidas no processo BIM, contendo o Dono de Obra e seus Consultores, a Fiscalização, o Empreiteiro e a sua Equipa Projetista.

5. PEB

Após o início do contrato e tendo sido definidas todas as entidades envolvidas no processo BIM, procedeu-se com o desenvolvimento do PEB. Este pretendeu organizar o âmbito, os objetivos e os usos BIM, definindo ainda os requisitos de gestão da informação para minimizar problemas de coordenação e garantir a sua qualidade e o seu uso eficiente. Tendo como necessidade o uso deste documento em todo o processo da obra, nomeadamente na produção, controlo e análise do projeto de execução, este realizou-se, como exigido no caderno de encargos, no primeiro terço do prazo do projeto de execução. O cumprimento deste primeiro objetivo foi essencial ao bom e eficiente funcionamento do restante processo, tendo a definição de fluxos de informação, prazos, estrutura, entre outros, presentes neste documento, desempenhado uma função muito relevante *a posteriori*.

Para cumprir estes objetivos e introduzir a flexibilidade necessária a este documento, atribuindo-lhe o caráter dinâmico que a metodologia BIM impõe, foi acordado por todos os intervenientes criar um corpo fixo, onde estariam definidas as orientações transversais a todo processo, sendo este complementado por anexos onde estariam definidos:

- O sistema de controlo da informação modelada e verificação de qualidade;
- A codificação geral de ficheiros;
- O nível de detalhe geométrico e nível de informação;
- O esquema organizativo da modelação.

Estes anexos serão detalhados ao longo do projeto e subsequente fase de obra, dando assim um cariz flexível, mas diligente, ao PEB.

5.1. Usos BIM e Níveis de Desenvolvimento

A definição clara e inequívoca dos usos e dos níveis de desenvolvimento, intrinsecamente interligados, é essencial ao bom uso da metodologia BIM.

A definição dos mesmos em fase de desenvolvimento do PEB teve por base o presente na especificação técnica BIM, referida acima, tendo estes que cumprir o exigido em concurso.

O primeiro componente a ser discutido e detalhado consistiu nos usos BIM, pois definem o âmbito do mesmo, traduzindo as necessidades das diversas partes interessadas e o que se poderá retirar dos modelos.

Ficou então definido que o projeto seria desenvolvido num nível crescente de detalhe, partindo dos elementos já desenvolvidos e submetidos a concurso, passando pela fase de Projeto Base até à conclusão do Projeto de Execução. Este projeto seria desenvolvido, excetuando em casos pontuais, em CAD (aproveitando e evoluindo o trabalho desenvolvido durante a fase de concurso) e posteriormente modelado com base nesses desenhos.

Criou-se então uma tabela detalhando os usos e tornando-os claros para todos os envolvidos, que se resume na Tabela 1. Nesta foi ainda determinada a fase do empreendimento onde cada uso seria útil, fase de projeto (P), de construção (C) ou de exploração (E), definindo consequentemente qual o nível de desenvolvimento tanto em termos de geometria como de informação que os modelos teriam de apresentar em cada fase.

Tabela 1
Identificação dos Usos BIM e Respetivas Dimensões.

Dimensão	**USO**	**Fase**
3D	Representação 3D da geometria global do empreendimento de modo a antecipar todas as colisões e incompatibilidades e avaliar a adequabilidade das soluções concebidas.	P+C
4D	Planeamento físico da obra através da associação ao modelo 3D de informação relativa às fases da construção, em ligação aos diagramas bidimensionais espaço-tempo. Identificação de conflitos de exequibilidade e a coordenação de trabalhos com entidades internas e externas.	P+C
5D	Apoio à gestão das quantidades contratuais recorrendo a informação constante nos modelos tridimensionais, como complemento de outras fontes de informação relevantes	P+C
7D	Constituição e consulta de um cadastro tridimensional do empreendimento. Introdução na base de dados federada de informação pertinente para a fase de exploração. Utilização da informação complemento constante na base de dados federada durante a fase de exploração do empreendimento, garantindo a sua atualização no decurso do tempo.	C+E

Dado o projeto não estar a ser modelado de raiz, sendo um desenvolvimento de um CAD, foi dada prioridade aos usos com uma mais-valia concreta para o Dono de Obra. Usos como a quantificação (dimensão 5D), não tão relevantes para o Dono de Obra, em casos onde o concurso é do tipo de conceção construção, foram assumidos como complementares, pois o esforço acrescido de modelação não representaria um benefício equivalente.

Definidos os usos e em que fase do empreendimento se enquadravam, foi possível rever a questão dos níveis de desenvolvimento dos modelos por forma a compreender como, onde, e quando os diferentes níveis de desenvolvimento deveriam ser aplicados. Tendo sempre os interesses últimos do Dono de Obra como um imperativo, as diferentes partes acordaram que o mais adequado seria criar uma matriz espaço/tempo. Esta encontra-se repartida primeiramente pelas 21 obras do empreendimento, onde se definem as exigências em relação a cada obra. Dentro de cada uma das obras são ainda definidos locais concretos onde, devido à complexidade da construção, à sua importância ou nível de risco, é associado um LOD (*Level of Development*) superior, como demonstra a Figura 2. Evita-se assim sobrecarregar os modelos com detalhe desnecessário e promover um esforço demasiado elevado, exacerbado pelo facto projeto não ter sido modelado de raiz, para um retorno efetivo diminuto.

Associado ao nível de desenvolvimento de cada local, está necessariamente a fase do projeto em que esse nível de detalhe é exigido. Sendo este um processo iterativo, o nível de detalhe vai consequentemente crescendo de fase para fase.

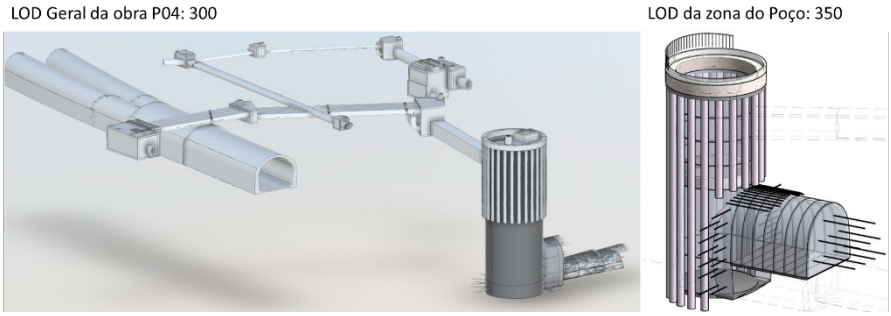


Figura 2
Exemplo de LODs utilizados.

5.2. CDE

Outra peça importante do puzzle diz respeito aos fluxos de informação das 21 obras e, consequentemente, à definição do Common Data Environment (CDE). Exigindo uma plataforma colaborativa que permitisse o acesso por parte do Dono de obra e da fiscalização, a todo o momento, aos modelos e ficheiros atualizados, a especificação técnica colocada a concurso deu abertura aos concorrentes, e neste caso em particular ao adjudicatário, para a escolha da mesma. Recaiu ainda sobre o adjudicatário o fornecimento das licenças necessárias e a permissão de um nível de acesso equivalente ao de administrador. No entanto, com o desenvolver dos trabalhos o Dono de Obra constatou que seria importante, ou mesmo essencial, que a posse e consequente administração do acesso à plataforma fosse da sua direta dependência.

Este facto baseou-se na necessidade de garantir acesso total, de uma perenidade do histórico da informação ao longo do período de exploração, para poder criar vias de comunicação internas ao DO, independentes de outras entidades, ou mesmo para ter um maior controlo sobre a informação existente. Salienta-se a necessidade do acesso e manutenção da qualidade da informação, ao longo no ciclo de vida, pois embora prementes, as restantes necessidades são partilhadas com todas as entidades envolvidas. Finalmente, considerou-se ainda importante que o CDE funcione de acordo com os princípios sugeridos na BS EN ISO 19650-1:2018 [2].

Assim, optou-se por adotar a funcionalidade Docs da plataforma Autodesk Construction Cloud (ACC), a versão atual do amplamente conhecido BIM 360. Esta plataforma permite que o Dono de Obra aloje o projeto na sua licença e que cada entidade se junte, a convite do mesmo, com a sua própria licença, a este projeto. Esta modalidade, em que cada entidade traz as suas licenças, tem-se provado bastante eficiente, permitindo uma gestão das licenças mais eficaz, visto a dificuldade de prever, em fase de concurso, o número necessário. A detenção de licenças próprias, por parte das entidades envolvidas, permitiu acelerar a disponibilidade de acesso às mesmas.

Outras funcionalidades, como a centralidade de informação, a possibilidade de visualização e interação com os modelos, o controlo de versões, as ferramentas de análise, a interação entre os membros do projeto, a flexibilidade de níveis de permissões, quer por utilizador, por "role" ou por empresa, entre outros aspetos, foram também fatores determinantes na escolha da plataforma a utilizar.

É, no entanto, de salientar, que como em todas as escolhas, existem algumas limitações na solução adotada. A impossibilidade de rastrear a atividade das pastas, limitando-se a listar os documentos presentes na pasta à data de exportação, a dificuldade em gerir estruturas de pastas complexas, a impraticabilidade da visualização de PDF, página a página, ou a limitação do número de páginas em cada documento (limite de 500 ou 2000, consoante as situações), a inadequabilidade das ferramentas de aprovação de documentos, ou a impossibilidade de sincronizar automaticamente para outras plataformas na cloud (como o SharePoint) sem usar aplicações pagas, são questões que poderiam e deveriam ser melhoradas, e tem de ser tidas em conta, a par com o custo, na altura de decidir a plataforma a utilizar.

6. Desenvolvimento

A empreitada apresenta vários desafios ao nível da modelação tridimensional por conter geometrias não clássicas para as quais a ferramenta de modelação adotada, o Revit não dispõe de ferramentas standard. Nesse sentido, foi necessário desenvolver automatismos internos que permitissem acelerar o processo de modelação dessas geometrias, sem comprometer os objetivos e usos acordados.

Numa primeira abordagem foram feitos desenvolvimentos em Dynamo for REVIT, mas de modo a potenciar a celeridade e fiabilidade do processo os mesmos foram transpostos para extensões .NET (addins) tendo sido criados diversos comandos

REVIT incorporados numa caixa de ferramentas designada METools, proprietária do adjudicatário.

Em particular, foram desenvolvidas as seguintes ferramentas .NET:

- Geração automática do túnel e respetiva soleira, partindo do seu traçado em planta e do seu perfil vertical, permitindo a sua segmentação em troços para melhor manipulação do modelo e respetiva informação complementar (foi adotada uma segmentação de 18m em 18m);
- Geração automática de cortes ou planos de referência ao longo do traçado do túnel;
- Colocação automática de famílias ao longo do traçado do túnel;
- Conversão de perfis geológicos em objetos tridimensionais, modelados ao longo do traçado do túnel, seguido o seu alinhamento planimétrico (Figura 4);
- Manipulação booleana de sólidos de forma direta no projeto REVIT, sem necessidade de entrar em ambiente de criação de famílias (adição, subtração, interseção, separação, etc.), permitindo por exemplo cortar qualquer objeto REVIT com a geometria de qualquer outro objeto;
- Conversão de geometrias diversas em famílias REVIT;
- Alinhamento altimétrico de objetos com a topografia

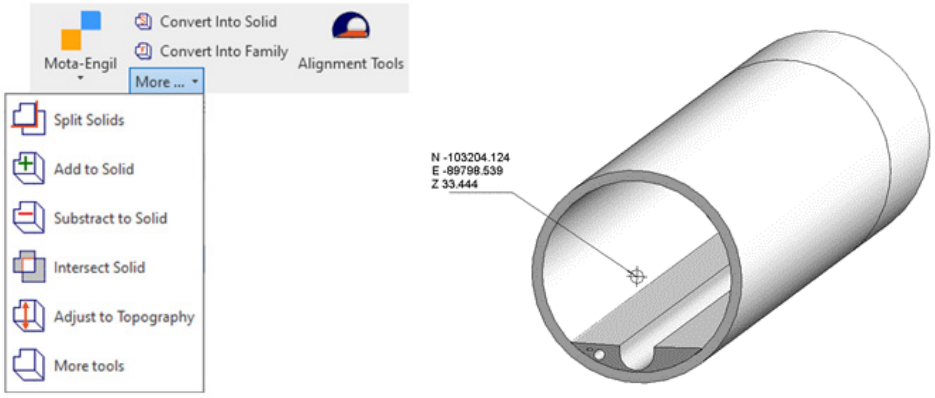


Figura 3
Menu do Addin ME Tools e exemplo de modelação de um troço de túnel.

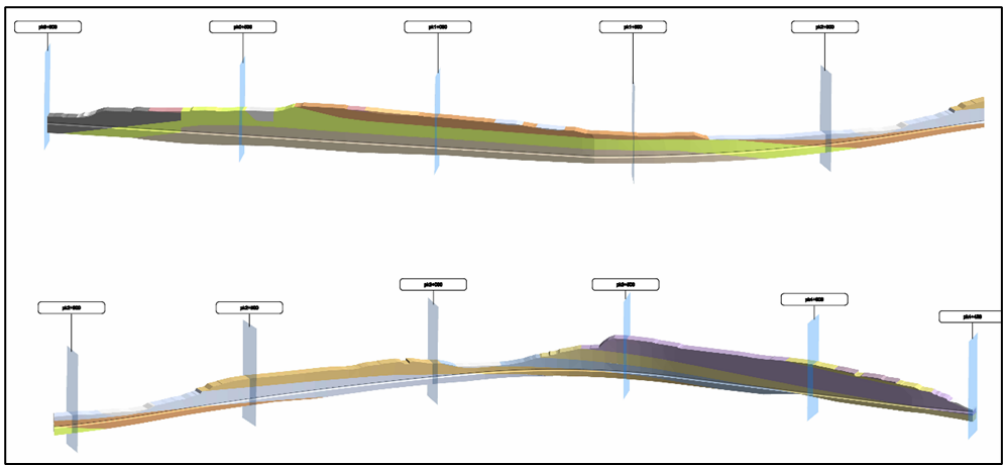


Figura 4
Perfil geológico transposto para o modelo tridimensional com marcação de PKs.

As ferramentas acima elencadas permitiram alcançar uma qualidade de modelação geométrica superior ao mesmo tempo que otimizaram o ritmo de trabalho, libertando os quadros técnicos para trabalho de análise de projeto de maior valor acrescentado. Salientar que estes automatismos não evitaram a utilização de categorias REVIT pensadas para uma dada tipologia de objetos numa tipologia de objetos completamente distinta dessa. A correta classificação dos objetos foi salvaguardada através das tabelas Elements and Functions (EF), Spaces and Locations (SL), Sistems (Ss) e Products (Pr) do sistema de classificação UNICLASS 2015.

Por serem ferramentas de automação mais ligeiras, alguns desenvolvimentos foram mantidos em Dynamo, permitindo uma manutenção e adequação mais expeditas. Nesse âmbito salientam-se as ferramentas de gestão BIM como sejam renomear famílias, copiar e ajustar parâmetros, ou listar os links REVIT e respetivas versões na folha de abertura de um dado projeto RVT, funcionalidades que permitem poupar muito tempo num projeto desta envergadura.

Igualmente de modo a agilizar a modelação foram desenvolvidas famílias adaptativas como por exemplo a que gera enfilagens em guarda-chuva, importantes na visualização do processo de construção e gestão de conflitos espaciais nas zonas densamente ocupadas, em função da seção do tubo, inclinação, ângulo de preenchimento, afastamento, etc.

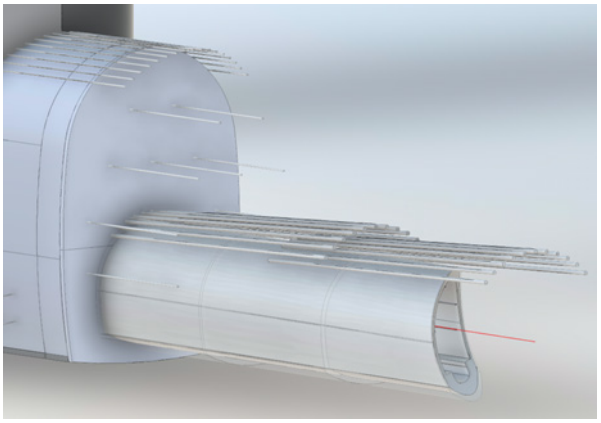


Figura 5
Enfilagens em guarda-chuva geradas a partir de famílias adaptativas.

Em Janeiro de 2022 o empreendimento encontra-se em curso, estando em fase de entrega do projeto de execução. A metodologia BIM e em concreto os modelos que têm vindo a ser desenvolvidos, tem permitido um melhor entendimento do que será construído e consequentemente uma abordagem mais célere e expedita na solução de problemas, como adiante se exemplifica.

Uma colisão entre uma conduta, de construção prevista para o anteprojeto, e o túnel do Metro, na zona da Av. da Liberdade, foi rapidamente detetada aquando da construção do modelo, levando a uma atempada alteração do projeto, e consequente subida da mesma.

Também na Av. Almirante Reis, a análise, com recurso ao modelo da obra, de uma zona onde existe uma situação de conflito com diversas infraestruturas existentes, como demonstra a Figura 6, permitiu uma a obtenção de uma solução perspicaz e mais célere. Esta deu-se devido à facilidade do entendimento de estruturas tridimensionais complexas, que o modelo permite, bem como à rápida confirmação da viabilidade das soluções propostas, bem como ao trabalho colaborativo de todos os intervenientes: projetistas, empreiteiro, fiscalização, dono de obra, consultores (ver Figura 7).

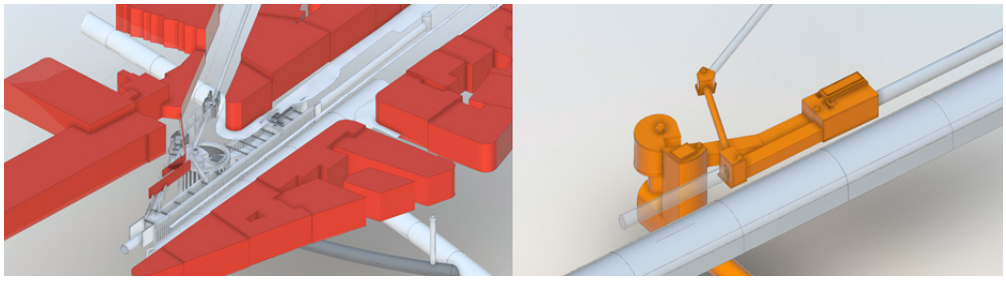


Figura 6
Sistema de drenagem a ser construído na Av. Almirante Reis e proposta alternativa.

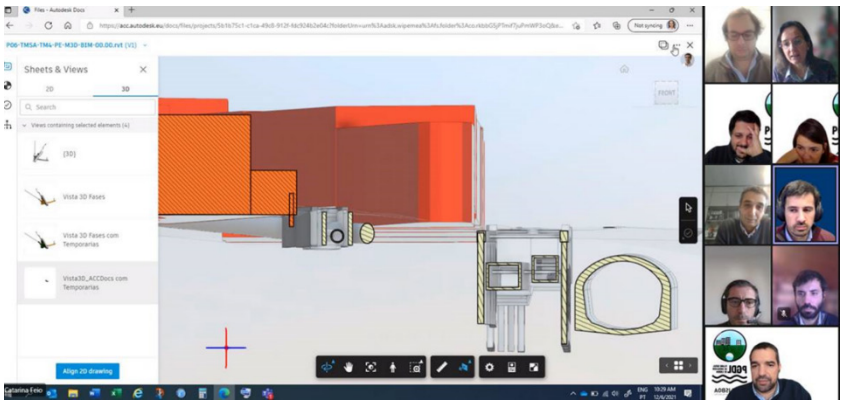


Figura 7
Análise de soluções alternativas para a Av. Almirante Reis, em reunião conjunta.

7. Conclusões

Apesar de ainda estarmos numa fase inicial da empreitada global, a fase de conceção, esta metodologia BIM tem demonstrado inúmeras mais valias e ganhos, tanto em eficiência, como em conhecimento. A adoção destas práticas em obras como a dos túneis de drenagem de Lisboa, tem-se demonstrado imperativa para garantir o melhor desempenho (e empenho) das equipas e uma maior interoperabilidade e colaboração.

Sendo a digitalização uma realidade do presente, e já não do futuro, a adoção destas práticas deve ser mais generalizada, pelo menos em grandes empreitadas. Esta obra tem demonstrado a bondade deste processo e deverá servir de exemplo para obras vindouras, especialmente obras de foro público, cujas entidades nem sempre estão sensíveis a estas necessidades.

Com o decorrer dos trabalhos, a evolução do projeto e da obra, esperamos continuar com esta aprendizagem e trazer mais valor ao empreendimento.

Há que salientar o facto de ainda estarmos numa fase muito inicial do empreendimento, a de conceção, sendo expectável que o maior ganho ocorra na fase de construção e, posteriormente, durante a exploração da infraestrutura. Não obstante, os ganhos e mais valias da adoção desta metodologia já são significativos, sendo um ótimo presságio para o que está por vir.

Referências

[1] Dodge Data & Analytics, «The Business Value of BIM for Water Projects». 2018.

[2] International Organization for Standardization, «BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles». 2018.

Parte IV – Estruturas

Automatização do detalhe de armaduras de elementos de betão armado em ambiente BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.28

Kleber Oliveira[1], **José Pedro Faria**[2], **Marco Vieira**[3], **José Miguel Castro**[4]

[1] *Universidade do Porto, Porto, https://orcid.org/0000-0001-5638-569X*

[2] *PROJEGUI, Guimarães*

[3] *PROJEGUI, Guimarães*

[4] *Universidade do Porto, Porto, https://orcid.org/0000-0001-9732-9969*

Resumo

O grande avanço da tecnologia nos últimos anos trouxe mudanças para as mais diversas áreas, e à indústria da construção civil foi beneficiada por esse desenvolvimento. Devido essa evolução, as ferramentas computacionais, estão mais precisas e acessíveis, tanto a nível de hardware como de software.

Um grande avanço para a construção civil, foi o desenvolvimento da metodologia Building Information Modeling (BIM), responsável por disponibilizar um novo meio de gestão da informação de construção, que se baseia no desenvolvimento de um modelo de informação virtual colaborativo. Embora a implementação tenha ocorrido a um ritmo lento, o principal destaque dessa metodologia é a promoção do processo de comunicação e coordenação entre todos os profissionais envolvidos na incorporação de qualquer tipo de edificação. Os softwares que se baseiam no conceito BIM, permitem a automação de tarefas complexas e repetitivas, ao mesmo tempo que reduzem a ocorrência de erros humanos e melhoram o desempenho na concretização do projeto.

Este artigo tem como objetivo evidenciar as vantagens da tecnologia e do conceito BIM no que diz respeito à automatização do processo de detalhamento de armaduras em vigas e pilares, seguindo o fluxo de trabalho entre Excel – Dynamo - Revit, com enfoque não só na redução do tempo de execução dos desenhos, mas também na melhoria da apresentação dos desenhos de armadura - que atualmente são realizados em 2D e com as rotinas desenvolvidas passam a ser visualizados em 3D.

Por fim, com o intuito de avaliar as rotinas desenvolvidas, será apresentado um caso de estudo.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está em grande desenvolvimento em busca de um processo mais automatizado e otimizado. Com o progresso da metodologia de Building Information Modeling (BIM), modelos virtuais precisos de edificações passam a ser construídos em ambiente virtual. Ao finalizar o modelo, tem-se a geometria exata e os dados necessários para auxiliar a requisição de materiais de construção, fabricação e a própria construção da edificação [1].

Um dos dados que podem ser obtidos nos modelos são as armaduras dos elementos estruturais, onde podem ser visualizadas todas as soluções e interferências antes de executá-las no local e obter de forma automática os quantitativos.

Ainda que se disponha de meios tecnológicos, a maior parte dos pormenores dos elementos de betão armado ainda são realizados com o recurso ao CAD 2D ou com o desenho individual dos varões de armadura dos elementos em ambiente 3D, o que torna o processo de detalhamento muito moroso.

Este artigo tem como objetivo apresentar um processo para automatização da pormenorização das armaduras de vigas e pilares de betão armado através de um ficheiro com as especificações em Microsoft Excel, além de ter como recurso a extensão de programação Dynamo presente no software Revit, desenvolvido pela empresa Autodesk.

2. Objetivos

Este artigo é fruto de uma dissertação de mestrado realizada na FEUP, desenvolvida em ambiente empresarial em parceria com a empresa PROJEGUI e tem como objetivo automatizar a modelação BIM de armaduras no projeto de estruturas.

Para atingir os objetivos da dissertação foi necessário:

- Criar uma folha de cálculo Excel que pudesse receber dados vindos do Revit e alimentar o Dynamo com outros dados (características das armaduras)
- Criar algoritmos para a pormenorização das armaduras de pilares e vigas
- Criar dois algoritmos para realizar o corte das seções transversais dos elementos e para a vista em alçado de vigas

3. Softwares BIM

Atualmente há uma grande disponibilidade de softwares para modelação BIM no mercado. O modelo dos objetos é feito com recurso a bibliotecas ou famílias que podem ser criadas e/ou editadas conforme necessário. Os softwares que têm maior visibilidade no mercado são o Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD e Rhinoceros.

Na área das estruturas e mais especificamente para a modelação de armaduras, destacam-se o Autodesk Revit, Tekla Structures e Allplan. A modelação das armaduras no Revit pode ser feita manualmente, com os recursos pré-existentes ou através de plugins que podem ser adquiridos através da Autodesk App Store, como por exemplo o Sofistik, GRAITEC e CADS.

3.1. Programação em BIM

O Dynamo é uma ferramenta de programação visual projetada para ser usada por qualquer tipo de usuário: desde aquelas que não tem conhecimento prévio em programação, até programadores em si. Essa ferramenta permite que os usuários verifiquem visualmente o comportamento de scripts, bem como scripts que usam diferentes linguagens de programação de texto [2]. Anteriormente o Dynamo era um plugin para o Revit mas a partir da versão 2020 do software, ele já vem integrado e é atualizado automaticamente.

Adicionalmente, podem ser desenvolvidos plug-ins com recurso a linguagens que trabalhem em ambiente .NET, como C# e JScript, por exemplo. Os plug-ins possuem uma execução mais rápida e estável quando comparado aos códigos em Dynamo [3].

3.2. Detalhamento de Estruturas de Betão Armado

O detalhamento das estruturas em betão armado é a forma de comunicação entre o engenheiro de estruturas e o construtor, sendo um processo que requer muita atenção, para que não haja muitas dúvidas ou interpretação errônea dos desenhos finais. Ainda hoje, grande parte dos gabinetes em Portugal seguem o fluxo de trabalho tradicional, com desenhos obtidos através do recurso ao CAD 2D. Com a modelação das armaduras em ambiente BIM, podemos visualizar o elemento com todas as armaduras necessárias e assim obter os mapas de quantidade e verificar possíveis incompatibilidades.

4. Códigos

4.1. Desenvolvimento dos Códigos

Foram desenvolvidos 9 códigos para a dissertação, sendo um deles responsável por apagar as armaduras nos elementos selecionados, dois para extrair informações do Revit, dois para a geração dos cortes da secção dos elementos, além da vista em alçado das vigas, e quatro para a execução da pormenorização das armaduras. Neste artigo optou-se por dar enfoque aos dois códigos de pormenorização dos elementos, sendo um para a criação das armaduras longitudinais e outro para os estribos, para cada elemento estrutural, ou seja, dois códigos para pilares e dois para vigas. Os códigos são acessíveis através do Dynamo Player, conforme pode ser visto na Figura 1 e para a execução necessitam do ficheiro em Excel e o modo de visualização das armaduras. Apesar dos códigos para os diferentes elementos possuírem diferenças na sua construção interna, a interface deles foi mantida igual.

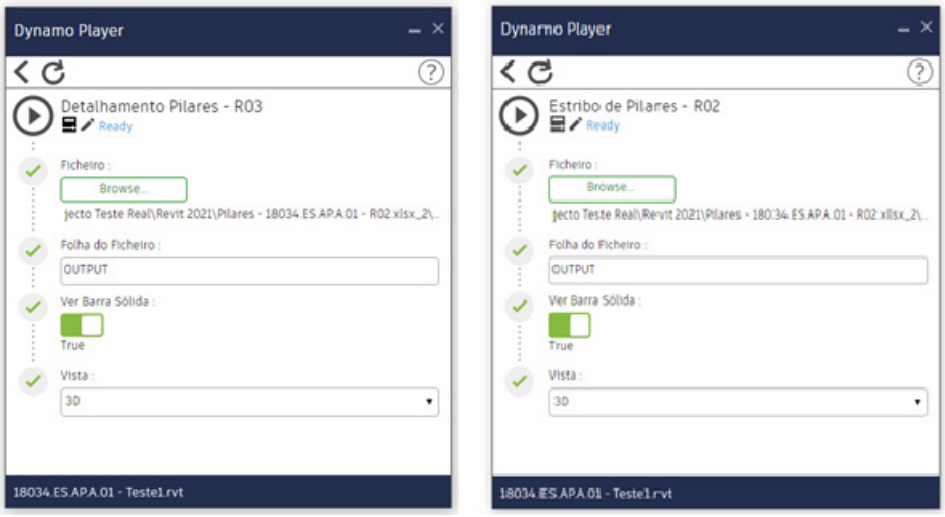


Figura 1
Interface dos códigos para detalhamento das armaduras dos pilares.

O principal desafio foi o desenvolvimento da rotina para detalhamento das armaduras longitudinais de base das vigas, uma vez que a rotina precisa detalhar a armadura em diferentes extensões do elemento, por vezes tendo que levar a armadura até a face interior do pilar ou a face interior da viga, que corresponde à distância do recobrimento e em outros casos tendo que interromper a armadura no eixo do pilar. É importante deixar claro que o código das armaduras longitudinais só tem capacidade de criar os reforços com a extensão colocada pelo usuário, não fazendo a dispensa automática de armadura. A rotina desenvolvida também faz o desenho dos ganchos onde seja necessário, porém como é o gancho gerado automaticamente pelo Revit o comprimento é definido dentro do tipo de varão, podendo não traduzir o comprimento necessário de amarração.

Na rotina de detalhamento dos pilares, o principal desafio esteve relacionado com o desenvolvimento dos estribos secundários, quando há necessidade de barras adicionais nos lados dos pilares quadrados e retangulares.

É importante realçar que na rotina para realização dos cortes nas secções das vigas, são efetuados três cortes, sendo um a meio vão e dois em locais variáveis definidos pelo usuário.

Com exceção das duas rotinas que extraem informações do Revit, os outros 7 códigos seguem a mesma lógica no fluxo de trabalho, que se resume a inserção dos dados no ficheiro em excel, execução da rotina e visualização dos resultados no Revit.

4.2. Ficheiros Excel

Conforme referido anteriormente, o ficheiro Excel foi criado para a introdução dos dados relativos às armações das vigas e dos pilares. O ficheiro é constituído por duas folhas, tendo a primeira recebido o nome de INPUT, a qual, no caso do código de pilares recebe as informações do Revit sobre o nome ("Mark"), as dimensões e o comprimento dos elementos estruturais. No caso das vigas, a única alteração é relativa

ao comprimento, que ao invés de ser o comprimento total da viga é o comprimento entre as faces externas dos pilares, identificado no Revit como "Cut Length". No desenvolvimento deste trabalho recorreu-se ao plug-in OnboxApp [4] para nomear as vigas e pilares no ficheiro do Revit.

	A	B	C	D
1	Mark	Cut Length	h	b
2	V201	1,71	0,75	0,25
3	V202	4,76	0,8	0,25
4	V203	5,69	0,8	0,25
5	V204	4,64	0,7	0,25
6	V205	4,39	0,6	0,25

Figura 2
INPUT do ficheiro de vigas.

	A	B	C	D
1	Mark	Length	h	b
2	P1 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
3	P2 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
4	P3 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
5	P4 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
6	P5 Lance 1 a 2	3,44	0,85	0,25

Figura 3
INPUT do ficheiro de pilares.

A segunda folha (OUTPUT) possui mais diferenças quando comparada com a folha dos pilares e as vigas. As duas primeiras colunas são iguais em ambos os ficheiros. A primeira coluna é preenchida com 1 ou 0, para, respetivamente, processar ou não o elemento da linha. Já na segunda coluna coloca-se o "Element Mark", dado que pode ser obtido na folha INPUT do mesmo ficheiro.

As informações requeridas para os pilares são referentes aos diâmetros das barras de armadura que serão utilizadas, as quantidades, as distâncias e o espaçamento dos estribos. As Figuras 4 e 5 mostram como estão organizados esses dados e o respetivo preenchimento.

	A	B	C	D	E	F
1	Processar	Element Mark	ϕ Barras Cantos	ϕ Barras Lado Maior	Nº Barras Lado Maior	ϕ Barras Lado Menor
2	1	P1 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
3	0	P2 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
4	0	P3 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
5	0	P4 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
6	0	P5 Lance 1 a 2	Ø16	Ø16	4	0
7	0	P5 Lance 2 a 3	Ø16	Ø16	4	0

Figura 4
1ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de pilares).

G	H	I	J	K	L	M
Nº Barras Lado Menor	ϕ Estribo	Dist. Inicial	Dist. Final	Esp. Estribo Inicial	Esp. Estribo Meio	Esp. Estribo Final
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1

Figura 5
2ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de pilares).

Para o ficheiro de vigas as informações contempladas são referentes ao diâmetro das armaduras de base, reforço e estribo, o número e comprimento dos reforços, assim como as distâncias e espaçamento dos estribos. As Figuras 6 a 8 exemplificam os dados das vigas.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Processar	Element Mark	ϕ Bar. Sup. - Base	ϕ Bar. Inf. - Base	Nº Bar. Sup. - Ref. - Ini.	ϕ Bar. Sup. - Ref. - Ini.	Compr. Bar. Sup. - Ref. - Ini.
2	0	V201	Ø16	Ø16	2	Ø16	1
3	0	V202	Ø20	Ø25	0	0	0
4	0	V203	Ø25	Ø25	2	Ø25	1.89
5	0	V204	Ø20	Ø20	0	0	0
6	0	V205	Ø20	Ø20	0	0	0
7	0	V206	Ø20	Ø20	0	0	0

Figura 6
1ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de vigas).

H	I	J	K	L	M
Nº Bar. Sup. - Ref. - Fin.	ϕ Bar. Sup. - Ref. - Fin.	Compr. Bar. Sup. - Ref. - Fin.	Nº Bar. Inf. - Ref.	ϕ Bar. Inf. - Ref.	Compr. Bar. Inf. - Ref.
0	0	0	2	Ø16	1
2	Ø25	1.91	1	Ø25	4.7
1	Ø25	2.17	1	Ø25	6
0	0	0	0	0	0
1	Ø20	2.02	2	Ø20	3
1	Ø20	1	0	0	0

Figura 7
2ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de vigas).

N	O	P	Q	R	S
ϕ Est.	Dist. Ini.	Dist. Fin.	Esp. Est. Ini.	Esp. Est. Meio	Esp. Est. Fin.
Ø8	0.5	0	0.1	0.2	0.2
Ø8	1	1	0.2	0.2	0.2
Ø8	1	1.47	0.2	0.2	0.1
Ø8	0	0	0.2	0.2	0.2
Ø8	0	0	0.3	0.3	0.3
Ø8	0	0	0.2	0.2	0.2

Figura 8
3ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de vigas).

4.3. Modelação da Estrutura

Para o correto funcionamento dos códigos os pilares e as vigas devem ser modelados como elementos únicos. Sendo assim, os pilares devem ser modelados piso a piso e as vigas devem ser modeladas tramo a tramo. A forma como as lajes e paredes são modeladas não influencia o resultado.

5. Caso de Estudo

O edifício do caso de estudo é constituído por uma cave e 5 pisos. No entanto, para efeito de validação dos códigos foi reduzido a cave e 2 pisos, conforme se ilustra na Figura 9. A cave é composta por 95 pilares e 76 vigas, o rés-do-chão possui 77 pilares e 89 vigas e o piso 1 possui 31 pilares e 60 vigas. A O modelo 3D da estrutura e os ficheiros. DWF com as informações necessárias sobre as armaduras foram fornecidos pela empresa PROJEGUI.

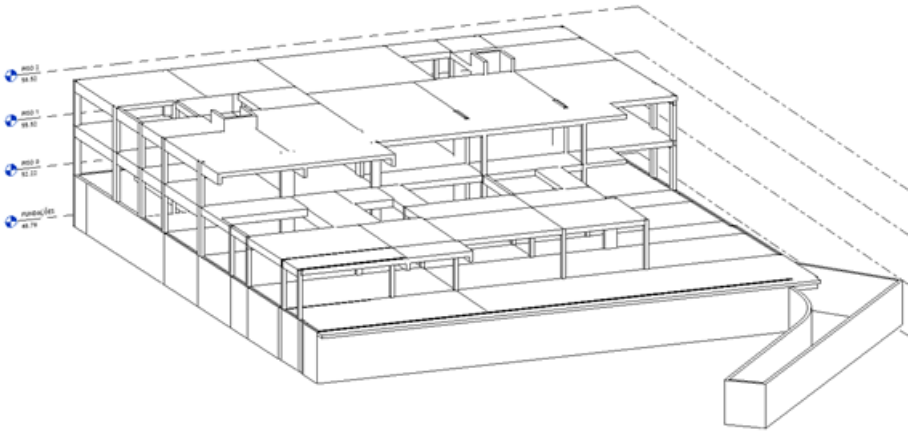


Figura 9
Visão geral do edifício.

Após a execução das rotinas obtiveram-se dos resultados que podem ser visualizados nas figuras seguintes.

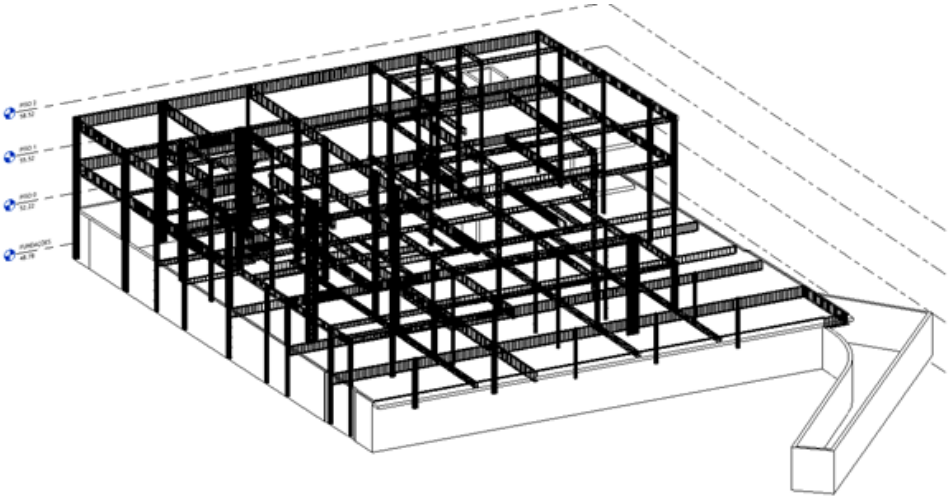


Figura 10
Visão geral do edifício com armaduras nos pilares e vigas.

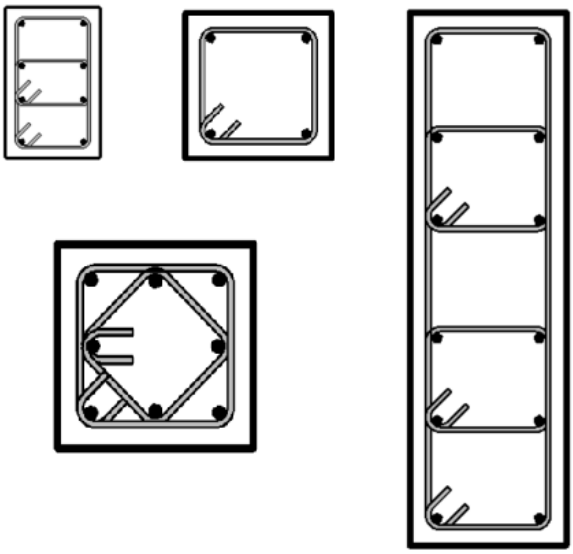


Figura 11
Corte de pilares após a execução dos códigos.

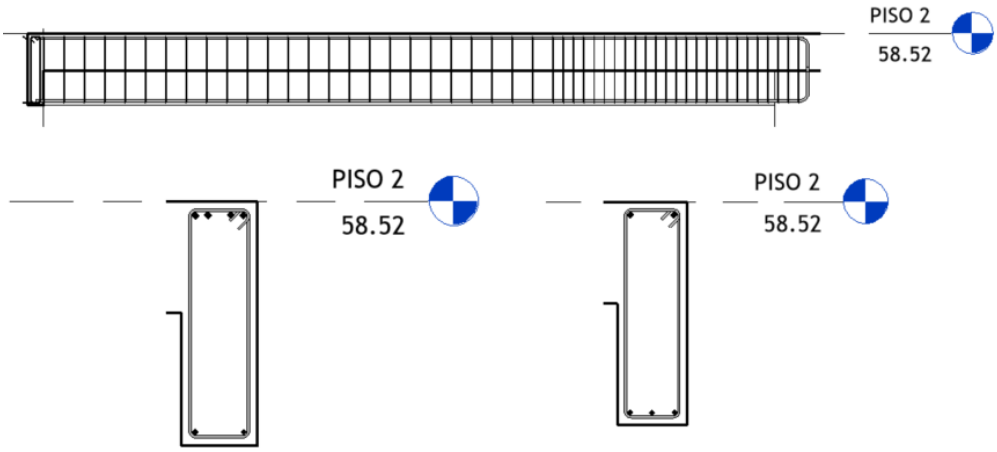


Figura 12
Corte de vigas após a execução dos códigos.

Foram realizados testes para aferir o tempo de execução dos códigos. Para maior precisão de tempo de execução, foi usada a extensão TuneUp [5].

As tabelas a seguir contêm os tempos de execução das rotinas em milissegundos com o número de pilares/vigas que foram selecionados na planilha em Excel e o número de elementos que foram gerados (armaduras, vistas e informações) ou apagados. Os testes foram realizados num portátil com processador i7 10875H @ 2.3-4.9 GHz e 16 Gb de memória RAM.

Tabela 1
Tempos de *benchmark* para geração de cortes – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	295
10	10	698
30	30	1733
50	50	2944

Tabela 2
Tempos de *benchmark* para geração de cortes – Vigas.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
4	1	429
40	10	1349
80	20	2943
120	30	3913

Tabela 3
Tempos de *benchmark* para pormenorização de estribos – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	776
51	10	1224
135	30	2615
219	50	4027

Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
2	1	5644
26	10	8453
37	20	13497
51	30	21084

Tabela 4
Tempos de *benchmark* para pormenorização de estribos – Vigas.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	568
15	10	1173
43	30	2950
71	50	3666

Tabela 5
Tempos de *benchmark* para pormenorização das armaduras longitudinais – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
1	1	58290
15	10	61895
28	20	62387
43	30	60328

Tabela 6
Tempos de *benchmark* para pormenorização das armaduras longitudinais – Vigas.

A criação de rotinas permite que as armaduras sejam criadas mais rapidamente e visualizadas em ambiente 3D, proporcionando uma melhor visualização das armaduras, podendo inclusive detetar eventuais interferências/sobreposições de vergalhões.

As tabelas acima são apenas uma amostra dos resultados obtidos, para maiores informações, o leitor deve consultar [7].

6. Desenvolvimentos Futuros

Após a realização deste trabalho verifica-se que existe uma oportunidade para melhoria das rotinas desenvolvidas, seja para aumentar as funcionalidades, ou melhorar o desempenho computacional. Assim, abaixo apresenta-se algumas recomendações para desenvolvimentos futuros:

- Otimização das rotinas em Dynamo (através da redução do número de nós ou funções utilizadas, como também transformando a rotina de nós para Python Script);
- Transformar os códigos que estão em Dynamo para uma API do Revit através da programação em C#;
- Criação de uma ferramenta que faça a ligação da folha de cálculo dos elementos com a folha de dados dos elementos em Excel que servirá para o código;
- Melhoria nos códigos de detalhamento das armaduras longitudinais e estribos para detalhar elementos com seções diferentes das retangulares e quadradas;
- Criação de código que junte os cortes das vigas e pilares em folhas que serão posteriormente enviadas ao dono de obra.

Referências

[1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores Incorporadores*, Bookman, Porto Alegre, 2014.

[2] The Dynamo Primer. https://primer.dynamobim.org/ (consultado em maio de 2021)

[3] Villarroel, J. *Rebar Detailing of Seismic Wall-Based Buildings Using Revit API and ETABS*. 2019. https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Rebar--Detailing-Seismic-Wall-Based-Buildings-Using-Revit-API-and-ETABS-2019 (consultado em maio de 2021)

[4] Onbox App. http://onboxdesign.com.br/ (consultado em maio de 2021)

[5] TimeUp.https://dynamobim.org/tuneup-extension-explore-your-node-and--graph-execution-times/ (consultado em maio de 2021)

[6] K. Oliveira, "Automatização do detalhe de armaduras de elementos de betão armado em ambiente BIM", Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021

BIM-Based seismic analysis of existing reinforced concrete buildings

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.29

Muhammad Yasir[1], **Luís Guichard Castro**[2], **Hugo Rodrigues**[3], **Miguel Azenha**[1]

[1] *University of Minho, Portugal*

[2] *Newton-c – Consultores de Engenharia, Lda, Portugal*

[3] *University of Aveiro, Portugal*

Abstract

The work reported paper aimed to develop a BIM-based framework to facilitate the process of seismic analysis of existing reinforced concrete buildings, through a streamlined set of modelling rules and interoperability between Autodesk Revit (BIM platform) and SeismoStruct (seismic analysis software). This is achieved through a visual programming script developed in Dynamo. The developed script can export geometry, sections, material properties, supports as well as reinforcement data for structural columns and beams. Furthermore, an important contribution of the framework was the consideration of infill walls which are normally ignored in the usual practices of design offices during the seismic assessment of existing buildings. The interoperability script can query the necessary information from the BIM model and export it to an XML (Extensible Mark-up Language) that can be directly recognized by the seismic analysis software. The operational capacity of the framework was assessed on an example of a regular building. The seismic capacity of the building was then evaluated using pushover analysis in SeismoStruct, with an evaluation of the beneficial effects of consideration of infill walls, thus allowing more realistic assessments. Moreover, a method to input reinforcement data based on non-graphical data was proposed, facilitating the quickness of the input of information to the BIM model and hence to the seismic analysis software.

1. Introduction

Even though BIM processes and implementation are still mainly focused on new constructions [1, 2], there is a strong trend for application in the context of existing buildings, which cannot yet be claimed to be generalized at all. One of such relatively unexplored fields is the seismic assessment, inherent to renovation (and eventually retrofitting) projects [3, 4]. In order to be effective in this particular context, BIM processes need to overcome several challenges including compilation and correct interpretation of existing documentation, inspection monitoring data, identification of critical data required for retrofitting, uncertainty handling and efforts required to develop the BIM model of the existing structure [5]. Despite its acknowledged importance, there is very limited literature on BIM-based seismic risk assessment of existing buildings. Works found in the literature regarding this subject are mostly focused on matters related to 'Level of detail' [6] BIM implementation in existing buildings [7], cost optimization of seismic retrofit strategies [8], collaboration in BIM networks [9] and application of a federated model for seismic analysis [10]. No work was found to focus on the establishment of specific workflows including adequate data management and interoperability among BIM tools and seismic analysis software, towards a streamlined seismic assessment as a 'BIM use'. The seismic assessment of existing buildings is often needed because of change in use, rehabilitation, constructions works or due to continuity of occupancy after a moderate to severe earthquake. There are many software being used for structural and seismic analysis of structures, but most of these software were developed prior to the advent of widespread application of BIM methodology and the majority still have a limited capacity of BIM-oriented interoperability at several levels [11]. The case of seismic vulnerability assessment of existing buildings is one of the fields in structural engineering for which an integrated framework has not yet been set involving, modelling rules and interoperability with seismic analysis software, in a way considered readily available for the context of a structural design office. Opportunities such as explicit consideration of infill walls in seismic assessment rise, potentially allowing more realistic seismic assessments to be made and eventually avoid unnecessary retrofitting.

The main objective of this research is to fill the gap identified above, within the context of RC buildings, through the development of a BIM-based framework to directly export relevant BIM model data from the model authoring platform to seismic analysis software allowing a quick and effective seismic analysis. To achieve the goal, this research study has established modelling rules for geometrical and non-geometrical data, so the relevant information for seismic assessment can be input into the BIM model with minimal effort. Furthermore, it also explicitly includes infill walls in both the modelling strategy and interoperability with seismic analysis software, offering an opportunity of consideration of these non-structural elements, which are often ignored in seismic assessment.

2. Proposal of a framework for BIM-based seismic analysis

The proposed framework was defined based on a set of performance requirements:

- To fully export necessary data from the BIM platform to seismic analysis software including geometry of columns, beams, infill walls, material properties and supports.
- To limit the operation of the structural engineer on the seismic analysis software to the verification of input data, to provide basic details and perform critical analysis.
- The modelling rules/definitions for the framework/script to operate should not have any kind of conflict with the other BIM uses intended from the structural BIM model.
- A set of assumptions was defined, which can assist in understanding the reasoning behind several of the choices and simplifications are taken throughout the development of the framework:
- The framework is devised to be applicable in existing buildings, but there are no actual limitations on applying it to new construction.
- Slabs are considered as rigid diaphragms and there is no need to model slab in Revit if the purpose of the modelling is just to perform the seismic assessment.
- Reinforcement is not explicitly modelled in the structural elements but rather placed as non-graphic information in each relevant element on the BIM modelling platform.

2.1. Proposed workflow

In this research, it is attempted to assess the seismic performance of an existing building by using a BIM-based framework. Autodesk Revit 2020 and SeismoStruct [12] were used for the development of the BIM model and seismic assessment of the existing structure respectively. The explanation of the workflow of the framework is based on the diagram of Figure 1, which contain labels for each activity/part, from 1A to 7A. First, based on the availability of all the necessary data for the job (Figure 1-1A), the building is modelled in the selected BIM authoring platform (Revit – Figure 1-2A), following the modelling guidelines stated in section 2.2. Because SismoStruct is not able to import IFC data, specific developments were needed for the interoperability of data. This was achieved through the implementation of a Dynamo script, which can be run by the user in the GUI of Revit, according to step 3A of Figure 1 (using Dynamo player). After the script is successfully executed, a text XML file will have been generated, in an apt state to be directly inputted into SeismoStruct, and then to perform a non-linear static analysis to evaluate structural response for earthquake loading conditions (stage 6A of Figure 1). By analysing the post-processing results including the base shear-displacement relationship, drift ratios, and development of plastic hinges etc. for different loading conditions, the results will be interpreted.

2.2. Modelling requirements

The script was developed for direct use of the geometry/elements of the BIM model, while not operating at the level of the 'analytical model'. For the modelling of structure in Revit, the following guidelines need to be followed to successfully use the framework for exporting the structural model to SeismoStruct using the Dynamo Script.

- The model needs to have two structural categories i.e., columns and beams. To study the effect of infill walls on seismic capacity, the 'wall' category can also be included.
- For the modelling of columns and beams, first, the columns are modelled to the required level and then beams are modelled up to the columns.
- The material properties and dimensions which include concrete cover, depth and width of both beams and columns, as well as strength and cover, need to be provided as type-parameter for the relevant objects (shown in Figure 4, for example).
- The reinforcement information needs to be attached to structural elements as a type-parameter in the format shown in Figure 2. For shear reinforcement, the number of shear legs are considered in each direction and is marked as stirrup-width and stirrup-height. For column reinforcement where lower and upper bars do not exist, the concept can be understood in reference to the global X and Y axis which can be drawn at the centre of the column. If the reinforcement is above the Global X-axis, it will be considered as an upper bar and vice versa. The type-parameters which need to be provided in the case of defining the infill walls are shown in Figure 2 as well.

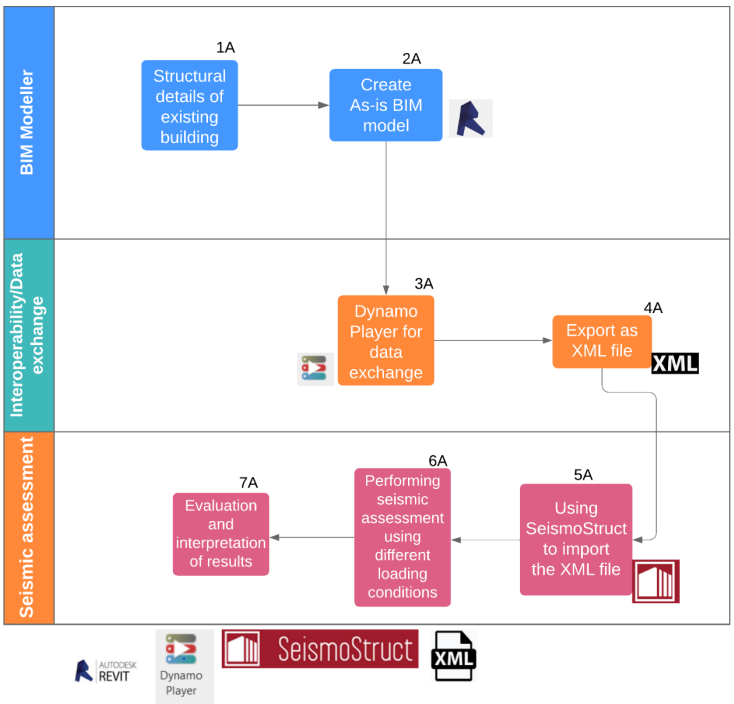


Figure 1
Workflow for the proposed methodology.

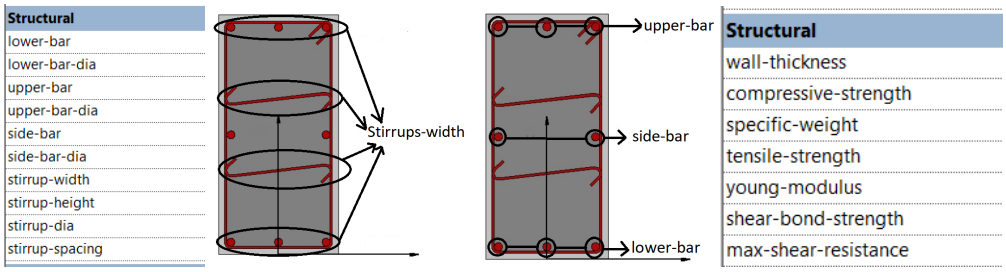


Figure 2
Reinforcement information for columns and beams (left) Explanation of nomenclature used for the reinforcement data (middle) Infill wall parameters (right).

Additionally, it is noted that the units used for cover, depth and width of beams/columns are taken in meters, while strength should be provided in kPa. Both longitudinal and transverse reinforcement should be provided in millimetres (mm), while its spacing is provided in meters.

Furthermore, for the script to detect and export the foundation of the columns as fixed support in SeismoStruct, an isolated footing needs to be provided to all columns in Revit.

2.3. Interoperability format for data – XML

The structure of XML format as well as the number of sections that are contained in the XML file which is exported by using the developed script is shown in Figure 3. The XML format starts with the program which is common data for any type of seismic analysis using SeismoStruct. The next is the Project Data which contains information regarding the type of seismic analysis, the number of nodes and number of elements etc. The project data is followed by the units used in the project and then all the materials are defined. The developed script assumes to take the SI units for the measurements of the above quantities. After that, sections are defined for all structural elements which include the materials assigned to these members, section dimensions, as well as the reinforcement information and its pattern, is presented. The sections are followed by element classes which explained the type of plastic hinges applied to the structural elements is defined. Nodes are defined following sections and elements classes, which provide the coordinates of all column ends and are connected further in the project elements where element classes are assigned to them.

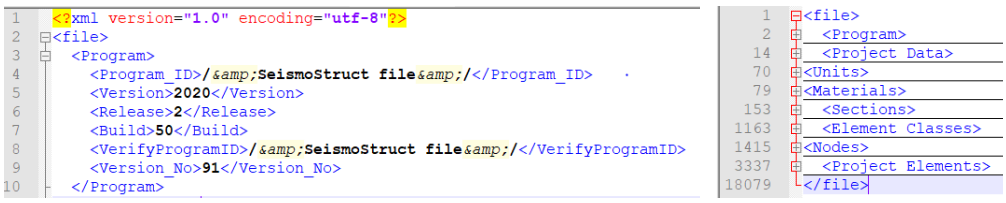


Figure 3
XML program data (left), overview of the exported XML (right).

2.4. Dynamo script

To export the BIM model to the SeismoStruct, a framework was built-up in Dynamo to develop interoperability between Revit and SeismoStruct. This framework will export the geometry, material properties, reinforcement data and foundation details for all the elements defined in Autodesk Revit. Due to the complexity and large size, it is not possible to show the whole script and therefore the detailed script can be seen in the dissertation from which this article was originated [13]. The structure of the Dynamo script is broken down into the following parts:

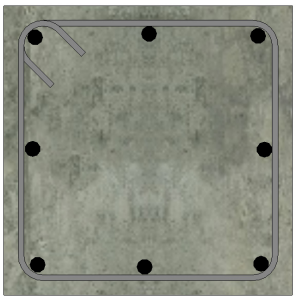
1. Defining input category for structural members and non-structural infill walls
2. Retrieval of input category and type name
3. Extraction of metadata of structural members
4. Extraction of node coordinates from the Revit Model
5. Defining sections and element classes
6. Defining project elements
7. Integration of the whole framework.
8. Defining a file path for exporting to XML file.

3. Pilot application and demonstration of feasibility

The developed script has been tested on an example building to check and understand its feasibility and to further perform the seismic assessment in SeismoStruct. The building considered is located in Lisbon. The building is made up of a reinforced concrete frame having a rectangular shape in-plane configuration. The structure consists of 4 storeys having each storey height is 2.8 m except the first floor, which is 3.3 m (see Figure 5). The geometrical and mechanical properties which include thickness, Compressive, and tensile strength, Young's modulus, shear bond strength, specific weight and maximum shear resistance were attached as Type parameters to the infill walls.

3.1. Modelling and execution of script/calculations

Autodesk Revit 2020 has been used to model the case study building according to the modelling requirements mentioned in section 2.2. The structure is a four-storey office building having 5 bays in one direction and 3 bays in another direction. The material properties, sizes of members, concrete cover as well as reinforcement information are attached to the respective structural member as non-graphical information. For information purposes, a section of the column, as well as the information attached to this column are shown in Figure 4.



Dimensions	
Cover	0.0150 m
Depth	0.3000 m
Offset Base	0.0000 m
Offset Top	0.0000 m
Width	0.3000 m
Identity Data	
Concrete-strength	22000
yield-strength	440000

Structural	
lower-bar	3
lower-bar-dia	16
upper-bar	3
upper-bar-dia	16
side-bar	2
side-bar-dia	16
stirrup-width	2
stirrup-height	2
stirrup-dia	6
stirrup-spacing	0.200000

Figure 4
Column section (left), size and material properties (middle), reinforcement (Right).

The model is exported as an XML file using the developed script which is then imported to SeismoStruct. The time required to execute the export depends on the performance of the operating system as well as the size of the model. For the given case study building, it takes almost 20-30 seconds to export the BIM model to XML file format. The modelled building in Revit and after importing to SeismoStruct is shown in Figure 5. After importing to SeismoStruct, it was found that all the geometrical properties, reinforcement information and footing are exported successfully from Revit to SeismoStruct, as shown in Figure 6.

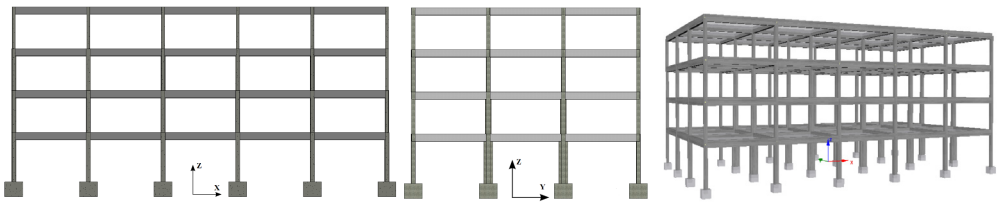


Figure 5
Structural model in Revit (Left) Structural model imported to SeismoStruct (Right).

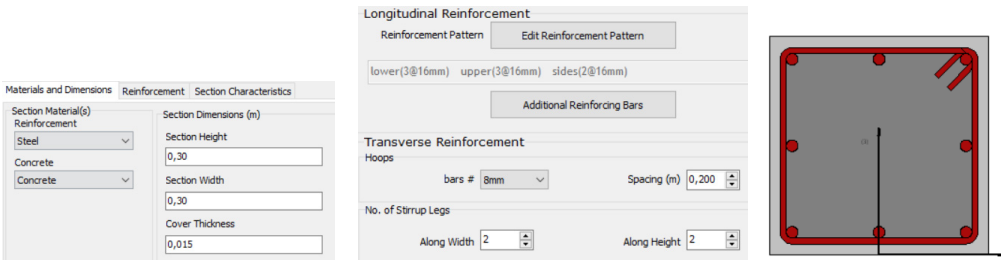


Figure 6
Section and materials (left), reinforcement data (middle), column section (right).

3.2. Pushover Analysis

After importing the BIM model to SeismoStruct, a few additional activities need to be defined in the pre-processing before performing the pushover analysis. This includes load distribution, loading phases, defining the target displacement and code response spectrum among others. The target displacement was assumed to be 2% of the total height of the building and the capacity curve was plotted up to that displacement. The structure is assessed at a target limit state of significant damage with a 10% probability of exceedance in 50 years showing significant damage with some residual stiffness and strength. Both triangular and rectangular lateral load distribution were assumed to perform analysis for seismic loads. The combination of permanent load and lateral loads were used to obtain the capacity curve for the

building. The resulting capacity curves are shown in Figure 7 for uniform and triangular load distribution in both x and y directions.

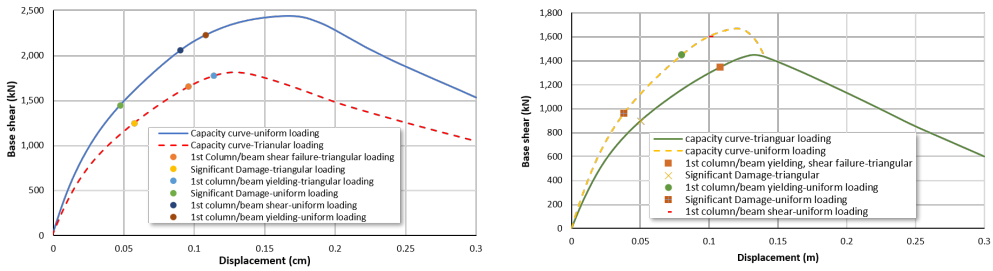


Figure 7
Capacity curves for lateral load patterns in x-dir (left) and y-dir (right).

The capacity curves depict that the building exhibits a higher capacity for a uniform lateral load configuration as compared to triangular lateral load when it is hit by an earthquake either in x or y-direction. The percentage difference between the maximum base shear of the case-study building for uniform lateral load pattern is 29% and 14% higher than the triangular lateral load pattern in x and y-direction respectively. Similarly, the case-study building shows more capacity when reaches to significant damage performance level for uniform lateral load than triangular lateral load pattern by 14% and 7% in x and y-direction respectively. However, the structure has a lower target displacement for the significant damage performance level for the uniform lateral load as compared to a triangular load pattern. For uniform lateral load in the y-direction, the structure shows significantly less ductility as compared to the other load pattern. Furthermore, the capacity of the structure increases roughly linearly in the beginning when the building is the elastic limit. However, the slope of pushover curves started decreasing gradually with an increase in lateral load due to the yielding of structural elements.

3.3. Effect of Infill walls

To understand the effect of the infill wall on the structural capacity and to fully explore the developed framework, various configurations of infill walls were applied to the structure as shown in Figure 8. In model 1, bare frame structure with no infill walls. In model 2, infill walls are provided throughout the plan and elevation while in model 3, infill walls are provided throughout except in the ground storey. In model 4, infill walls are provided in an irregular pattern both in plan and elevations to understand the effect of irregularity on the seismic capacity of the structure.

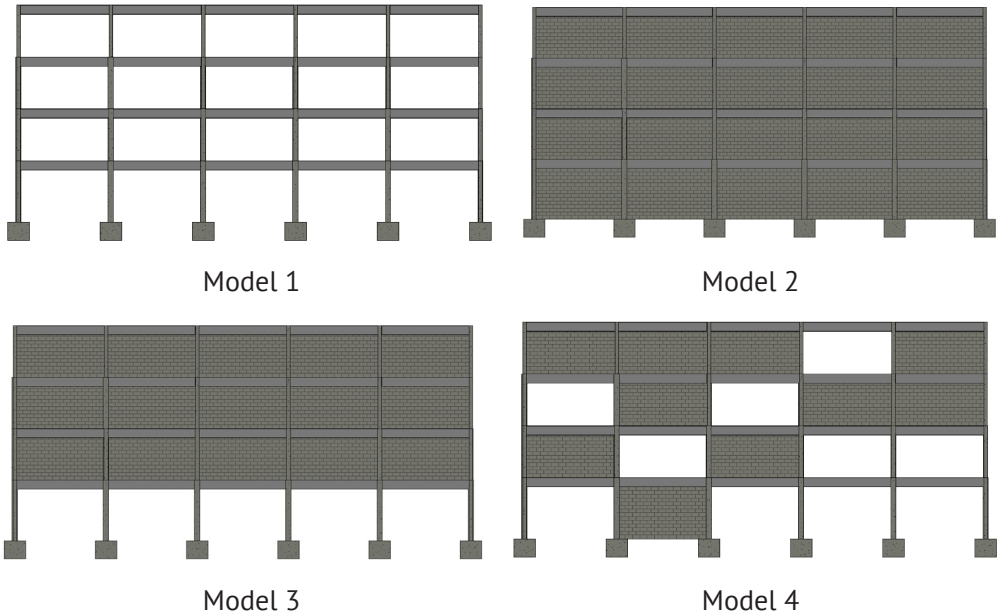


Figure 8
Building models to be analyzed.

After modelling in Revit, these structural models are exported using the framework into XML format and then imported into SeismoStruct. Pushover analysis of all the models is performed for different lateral load patterns and their corresponding capacity curves are obtained and shown in Figures 9-10.

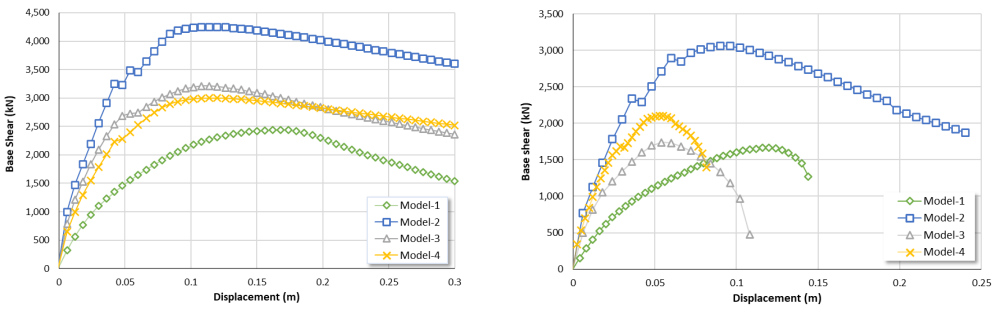


Figure 9
Uniform lateral load in the x-direction (left) and y-direction (right).

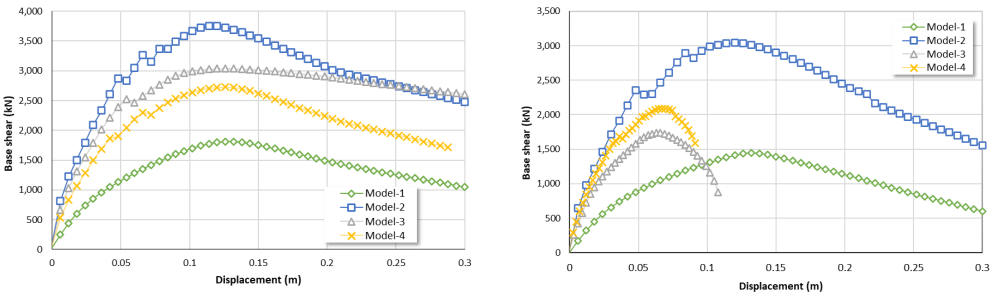


Figure 10
Triangular lateral load in the x-direction (left) and y-direction (right).

It can be observed that structural infill walls have significant effects on the behaviour of the structure under seismic forces. The presence of infill walls modifies both base shear and displacement and enhances the integrity and stability of RC frames.

However, the ductility of the structure decreases significantly in y-direction due to the addition of infill wall and the structure fail after reaching its ultimate base shear capacity. It can be seen that the structure has a higher load capacity in x-direction as compared to y-direction for both lateral load patterns.

4. Conclusions

The main objective of this work was to propose a BIM-based framework to facilitate the seismic assessment of existing RC buildings using non-linear pushover analysis. In this research, a framework based on a visual programming script was developed in Dynamo which is used to export data in XML format from the BIM model (in REVIT) to seismic analysis software (SeismoStruct) for its seismic assessment. A set of modelling rules were established for adequate export and discussed within the research, with a particularly time-effective process to model the reinforcement without the explicit need to model the actual reinforcement bars. The BIM model contained all the relevant data for export including geometry, material properties and reinforcement data. Furthermore, to study the effect of infill walls on the seismic capacity of the buildings, the interoperability framework allowed the direct import of the corresponding relevant data from the BIM authoring tool to the seismic analysis software. The framework is also capable of exporting the footings for the columns.

The following points can be concluded from the studies performed in this research.

- The geometry of all the structural elements including columns and beams is successfully exported from Revit to SeismoStruct, as well as non-graphical information such as material properties. Thus, the added value of having information available on a BIM model, allows the structural engineer to ease the tasks of modelling/input for the seismic analysis software, thus reducing errors and allowing to concentrate on the highly complex tasks of analysing results and taking decisions on the potential need for strengthening.
- Modelling of reinforcement is one of the complex tasks in the BIM modelling process. The alternative model developed herein, based on a set of non-graphic parameters has revealed itself effective. Time of modelling and chances of error in modelling is strongly reduced as compared to the full modelling of rebars in the BIM authoring tool.
- The results of the pushover analysis performed in this article show that the studied structure is sufficient to resist seismic loading. Although flexural and shear hinges are developed both in columns and beams at different storeys for different lateral load patterns, these were developed after target displacement had been achieved.
- The studies and research performed in this research show that infill walls have a significant contribution to the seismic capacity of the structure. The seismic capacity of the structure enhances up to 40% when infill walls are provided continuously both in plan and elevation.

- Overall, the proposed framework has satisfied the initially set requirements of interoperability and demonstrated the feasibility of operation with case study building.

Acknowledgements

The authors acknowledge the European Commission for the funding of the 1st author under the Erasmus Mundus scholarship (BIM A+ Master) during the course of study. This work was partly financed by FCT / MCTES through national funds (PIDDAC) under the R&D Unit Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), under reference UIDB / 04029/2020.

References

[1] ISO Standard. (2010) "Building Information Modelling – Information Delivery Manual – Part 1: Methodology and Format". ISO 29481-1:2010(E)

[2] Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. (2014): Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs – Automation in Construction 38, pp.109-127, DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

[3] M. Khaddaj, I. Srour, (2016), "Using BIM to Retrofit Existing Buildings", in: Proc. International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction,Procedia Engineering 145 pp. 1526-1533, Elsevier.

[4] Raimar J. Scherer, Peter Katranuschkov, (2018), "BIMification: How to create and use BIM for retrofitting", Advanced Engineering Informatics 38, pp. 54-66

[5] J.J. McArthur, (2015), "A building information management (BIM) framework and supporting case study for existing building operations, maintenance and sustainability", Proc. Eng. 118 pp. 1104-1111.

[6] Zhen Xu, Xin zheng Lu, Xiang Zeng, Yongjia Xu, Yi Li, (2019), "Seismic loss assessment for buildings with various-LOD BIM data", Advanced Engineering Informatics, Volume 39, pp. 112-126.

[7] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, (2014), "Building Information Modelling (BIM) for existing buildings—literature review and future needs", Automation in Construction, vol. 38, pp. 109-127.

[8] U.Vitiello, V.Ciotta A.Salzano, D.Asprone, G.Manfredi, E.Cosenza, (2019), "BIM--based approach for the cost-optimization of seismic retrofit strategies on existing buildings", Automation in Construction Volume 98, pp. 90-101.

[9] M. Oraee, M. R. Hosseini, E. Papadonikolaki, R. Palliyaguru, and M. Arashpour, (2017), "Collaboration in BIM-based construction networks: a bibliometric-

-qualitative literature review", International Journal of Project Management, vol. 35, no. 7, pp. 1288-1301.

[10] Biagini C., Ottobri P. (2019) Federated Parametric Models for Seismic Risk Analysis in Existing Buildings. In: Cocchiarella L. (eds) ICGG 2018 – Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics. ICGG 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 809. Springer, Cham.

[11] Maggie Khaddaja, Issam Srour, (2016), "Using BIM to Retrofit Existing Buildings", International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering 145, 1526-1533

[12] Seismosoft (2020), "SeismoStruct – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures". Available from URL: www.seismosoft.com

[13] Muhammad Yasir, (2020), "A framework for BIM-based assessment of seismic performance of existing RC buildings", Master Dissertation, European Master in Building Information Modelling, Universidade do Minho Escola de Engenharia.

Design generativo aplicado às estruturas: Otimização do plano de corte dos painéis de tela soldada em paredes de concreto

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.30

Gabriel P. Veloso[1], **Danielle M. Oliveira**[2], **Carmen Ribeiro**[3], **Sidnea Ribeiro**[4]

[1] *Universidade Federal de Minas Gerais 1, Belo Horizonte 1, 0000-0001-5932-5684*

[2] *Universidade Federal de Minas Gerais 2, Belo Horizonte 2, 0000-0003-4379-5096*

[3] *Universidade Federal de Minas Gerais 3, Belo Horizonte 3, 0000-0002-6698-9865*

[4] *Universidade Federal de Minas Gerais 4, Belo Horizonte 4, 0000-0001-7875-9314*

Resumo

O "Design Generativo" é um processo que proporciona iterativadadade, para avaliação de situações de projeto, que envolvem múltiplos objetivos de otimização. A utilização deste conceito proporciona ao projetista testar e avaliar um maior número de soluções de projeto, encontrando a opção ótima em menor tempo. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão bibliográfica a respeito de algoritmos genéticos, que são a estrutura computacional das ferramentas de *Design* Generativo, assim como, avaliar a utilização destes em etapas de desenvolvimento de projetos estruturais. Ademais, foi realizado um estudo de caso, da geração do plano de corte de painéis de tela soldada em um projeto de paredes de concreto em BIM. Neste estudo, foi desenvolvido um script no Dynamo, com o suplemento "Design Generativo", introduzido no *software* Revit, na versão 2021, para geração dos planos de corte. Os objetivos de otimização foram definidos com base em uma lógica de empacotamento bidimensional, e o resultado do fluxo foi comparado, qualitativamente e quantitativamente, com resultados obtidos para o mesmo projeto, utilizando o *software* TQS e outro *software* que tem como base algoritmos genéticos. Assim, foi possível avaliar que, no cenário estudado, a utilização de algoritmos genéticos, de maneira geral, pode-se equivaler quantitativamente a métodos convencionais de otimização, e aprimorar o fluxo de projeto.

1. Introdução

O "Design Generativo" é um processo iterativo de desenho, baseado na geração de um certo número de resultados atrelados às condicionantes de projeto, e cada um destes resultados é avaliado relativamente a cada uma destas condicionantes, que são por fim os objetivos que regem a modelagem. As ferramentas de "Design Generativo" usam princípios da evolução, como os operadores de seleção, cruzamento e mutação, para iterativamente gerar soluções e avaliá-las de acordo com os objetivos, sendo assim, considerados algoritmos genéticos [1].

Diante desta perspectiva, o "Design Generativo", torna-se uma importante ferramenta para o desenvolvimento de processos de "*design*" e modelagem, que envolvem uma multiplicidade de critérios. Desta maneira, ferramentas baseadas neste conceito têm se tornado muito úteis, principalmente para profissionais da Arquitetura, em fases iniciais de projeto, como estudo de viabilidade, que visam definir o cenário mais otimizado de implantação de um projeto.

Embora menos utilizado em outras disciplinas da construção, tem sido possível observar também os impactos e possibilidades de uso do "Design Generativo" para a área de estruturas. Desta forma, este trabalho terá como base estudar, dentro do contexto da Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling – BIM), o uso de algoritmos genéticos na área de estruturas, a partir de um estudo de caso que visará otimizar o plano de corte dos painéis de tela soldada em sistemas de parede de concreto moldadas no local.

Ademais, este trabalho se justifica, principalmente, pelo objetivo de aumentar a racionalização do uso das telas soldadas, sendo possível otimizar resultados para produção no método construtivo de Paredes de Concreto Moldadas no Local. O qual, atualmente no Brasil, é o sistema mais utilizado para construção de edificações de interesse social no programa Casa Verde e Amarela (Minha Casa Minha Vida), representando mais de 250 mil unidades habitacionais realizadas ao ano.

Portanto, este trabalho tem como objetivo principal desenvolver um método de otimização dos planos de corte das telas soldadas em um sistema de paredes de concretos moldadas no local. Tendo como base o conceito de "Design Generativo", para permitir uma análise de múltiplos critérios e também garantir um processo iterativo dentro do fluxo BIM, proporcionando fluidez ao desenvolvimento do projeto, diante da possibilidade de avaliar diferentes cenários de maneira prática, simplificando a busca pela opção ótima.

2. Revisão da literatura

A revisão da literatura será formulada pelos principais itens que compõem a estrutura do trabalho, para assim, estabelecer as bases de desenvolvimento. Desta forma, serão estudadas referências bibliográficas relativas ao "Design Generativo" com enfoque nos conceitos de otimização e composição de algoritmos genéticos, assim

como, a aplicação em projetos estruturais. O segundo item de pesquisa será a programação visual, tendo em vista que, esta será a forma de desenvolver a estrutura do método de otimização, e por fim, as definições de projetos estruturais com o sistema construtivo de paredes de concreto.

2.1. *Design* generativo

Em um processo de desenvolvimento de projeto, o tempo de elaboração de um *design* é geralmente limitado. Portanto, um projetista não consegue explorar todo o espaço de soluções viáveis e então, apenas testa e melhora uma pequena quantidade de opções para definir a solução final [1]. Neste cenário, surge a necessidade de cooperação entre o projetista, com a intuição e experiência, e os métodos computacionais com a alta capacidade operacional, para se atingir as soluções mais otimizadas para um problema.

Portanto, o conceito de *Design* Generativo surge como uma vertente de métodos de otimização de situações de projeto, que, por sua natureza, precisam satisfazer várias restrições. O *Design* Generativo é baseado em métodos de busca de soluções, chamados de algoritmos genéticos, que se apropriam de processos evolucionários, para alcançar a otimização. Através destes processos é possível aprender com os *design*s que foram analisados, e aplicar esse conhecimento para gerar projetos novos e de melhor desempenho [2]. Logo, o *Design* Generativo se constitui por um processo iterativo de três principais etapas: gerar diferentes soluções para o *design*, avaliar a aptidão de cada opção com base nas restrições de projeto e fazer a união dos parâmetros das melhores soluções para evoluir para uma nova geração de opções.

2.2. Otimizações de objetivos múltiplos

A otimização deve ser considerada uma ferramenta de decisão, em que esta tem como função, a melhoria do resultado e não a obtenção da solução exata para um problema. Desta forma, para usar este tipo de ferramenta é necessário modelar a situação, identificando as variáveis do problema para relacioná-las de maneira a se obter valores ótimos como resultado [3].

Uma otimização de objetivos múltiplos envolve avaliar diferentes objetivos, restrições, para encontrar as decisões ótimas de solução. A complexidade do processo de *Design* geralmente envolve múltiplos critérios a serem satisfeitos, o que gera uma contradição nas definições, tendo em vista que, para maximizar uma função de múltiplos objetivos, seria necessário minimizar pelo menos um dos parâmetros [1]. Desta forma, não haveria apenas uma solução para atingir todos os objetivos, mas sim, um conjunto de opções ótimas para serem avaliadas na decisão. Portanto, se o modelo elaborado é simplista, este não será suficientemente capaz de receber os dados de entrada e avaliá-los de forma correta, e ao ser muito complexo, pode se tornar muito difícil de resolver. A construção de um modelo apropriado deve ser o primeiro passo para a otimização [4].

Os processos de otimização podem ser divididos em métodos clássicos e os modelos computacionais que compõem a computação evolucionária. Os métodos clássicos são aqueles que se baseiam em algoritmos determinísticos, que geram uma sequência determinística de possíveis soluções, logo, estes tendem a utilizar a primeira derivada da função que modela o problema. Os métodos evolucionários, algoritmos genéticos, se baseiam em processos iterativos com a ideia de avaliar a função do modelo. De maneira que é realizada uma busca baseada em conceitos de probabilidade, dirigindo a busca para a região do espaço amostral de possíveis soluções onde é mais provável localizar o ponto ótimo [3].

2.3. Algoritmos genéticos

As principais vantagens do uso dos algoritmos genéticos são [5]: lidar com um grande número de variáveis; fornecer uma lista de variáveis ótimas e não apenas uma solução; trabalhar com dados gerados numericamente, dados experimentais ou funções analíticas; a otimização pode ser realizada com variáveis contínuas e discretas; não são necessárias informações sobre as derivadas; a otimização pode ser feita com variáveis codificadas.

O fluxo geral de processos de um AG pode ser definido pela sequência: criação randômica de um conjunto inicial de soluções, sendo este, a população pai da primeira geração; a partir de cada indivíduo da população, é calculado o grau de aptidão para o problema [1]. Se o grau calculado de alguma solução satisfazer o critério de parada, o algoritmo encerra. Caso contrário, dois indivíduos da primeira geração são escolhidos para a reprodução de um novo indivíduo, esse cruzamento gera a população filha da primeira geração. Então, é aplicada uma mutação randômica na população filha para diferenciação dos cromossomos e possivelmente gerar características mais adequadas nas soluções aos problemas. Depois deste processo, é calculado o grau de aptidão dos indivíduos da população filha e junto à população pai, é formada a primeira geração de soluções. Todos estes indivíduos são ordenados pelo grau de aptidão. Então os indivíduos melhor classificados formam a próxima geração.

O processo de classificar a população filha e pai em um mesmo conjunto, formando uma geração, é chamado de elitismo. Desta forma, é assegurado que as soluções com maior grau de aptidão serão preservadas.

Portanto, pode-se considerar quatro principais blocos que compõem um algoritmo genético, a definição das variáveis, sendo os inputs, a geração de uma população inicial, os métodos avaliadores para calcular o grau de aptidão dos indivíduos das populações, e os métodos de convergência para atingimento dos critérios de parada. O fluxo de processos de um algoritmo genético é apresentado na Figura 1 adaptada [3].

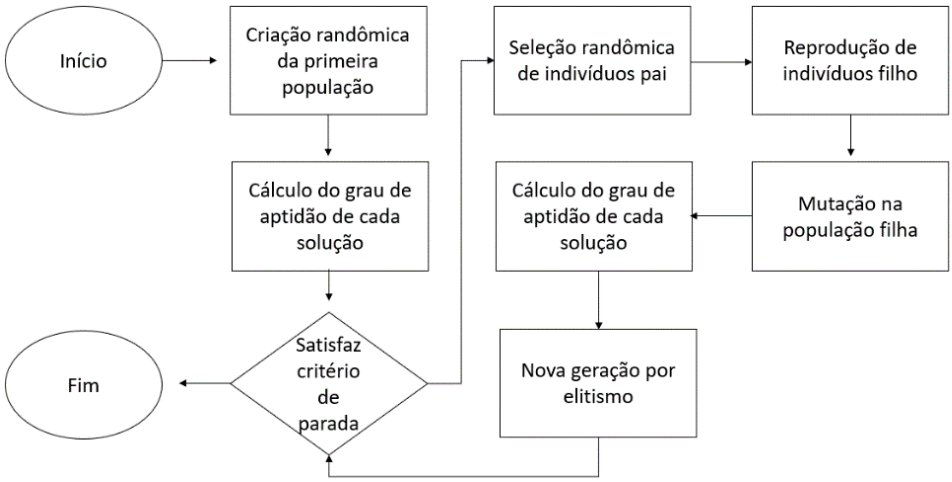


Figura 1
Fluxo de processos de um algoritmo genético.

Os estudos da computação evolucionária e os algoritmos genéticos na engenharia estrutural tiveram início no meio da década de 70. Estes são divididos entre três principais categorias: otimização de tipologia, busca por uma disposição ideal de material para um sistema estrutural; otimização de forma, que busca pelo melhor contorno de um sistema; e otimização de dimensionamento que busca pelas seções e dimensões ótimas [6].

2.4. Programação visual

Na programação visual, os comandos textuais, desenvolvidos por códigos, são substituídos por elementos gráficos e estes, são manipulados para executar tarefas [1]. Atualmente, vários *softwares* de modelagem e desenvolvimento de projetos BIM contemplam ferramentas de programação visual para simplificação e automação de projetos, podendo ser citados como exemplo: "Open Buildings Designer" com a ferramenta "Generative Components", "Rhinoceros" com o "Grasshopper" e "Revit" com a ferramenta "Dynamo".

A partir do Revit 2021, foi incorporada uma ferramenta chamada "Generative Design", que permite desenvolver estudos de *design* com base em algoritmos genéticos. Esta ferramenta trabalha em conjunto ao Dynamo no Revit, de forma que a implementação lógica é estruturada no Dynamo e exportada para o "Generative Design", permitindo que o usuário desenvolva os estudos de otimização. Inicialmente, esta ferramenta foi liberada ao usuário, em fase de testes, em 2019, com o nome Refinery.

Um possível fluxo para o desenvolvimento de estudos de otimização de *design* em fases iniciais de projeto, pode ser estruturado da seguinte forma [1]:

- as variáveis e restrições são implementadas no Dynamo, este é o trecho do código responsável por gerar as características dos indivíduos da população;
- também no Dynamo é implementada a avaliação de aptidão dos indivíduos com base nos objetivos;

- os dados de saída das avaliações são enviados para o Refinery, o qual funciona como o "motor" de otimização, a partir de um algoritmo genético;
- após terem ocorrido os processos evolucionários no Refinery, os dados processados retornam como parâmetros de entrada para o Dynamo e ciclo recomeça.

2.5. Projeto Estrutral em Paredes de Concreto

O projeto estrutural de paredes de concreto deve ser constituído por desenhos que contenham as plantas de forma e elevações das paredes, com as respectivas armaduras [7]. Neste tipo de projeto, a armadura principal das paredes, em geral, é detalhada com telas soldadas de aço (malha de armadura eletrosoldada) que possuem a mesma área de aço na direção longitudinal e transversal (tipo Q). A área de aço a ser utilizada, é definida principalmente pela espessura da parede e deve-se garantir um trespasse mínimo de 30 cm entre os cortes de tela, conforme Figura 2. Com base nas dimensões de trechos de tela definadas nas eleações, uma etapa importante do projeto é a definição do plano de corte dos painéis comerciais. Que tem o objetivo de minimizar a quantidade a ser comprada, consistindo em definir a forma ótima de cortar os painéis de 600cm x 245cm, para obter todos os cortes requeridos (Figura 2). Para realizar este processo, é comum utilizar ferramentas computacionais como o TQS e o CutLogic2D.

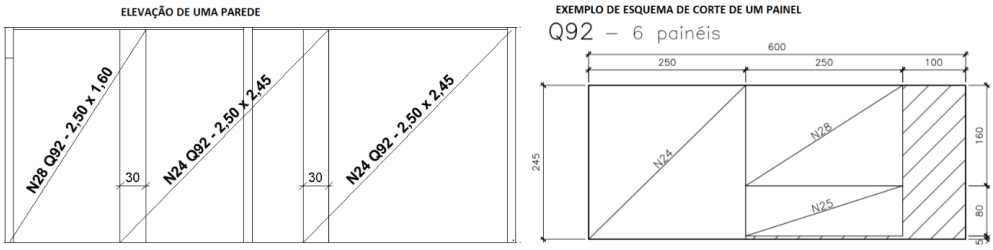


Figura 2
Exemplos de detalhamento de um projeto estrutural em Paredes de Concreto.

3. Implementação

Foi definido um estudo de caso como metodologia para avaliar o desenvolvimento da abordagem generativa na otimização dos planos de corte das telas soldadas, e este terá os seguintes passos:

- extração dos quantitativos de comprimento, largura, peso e tipo dos cortes de tela soldada das paredes de concreto do modelo estrutural no Revit, de um projeto de referência de uma edificação multifamiliar de 5 pavimentos. O projeto possuí paredes de10cm de espessura, em que majoritariamente foram utilizadas telas Q92 (0,92cm²/m de área de aço, com fios de 4,2mm espaçados por 15cm nas duas direções;
- geração do plano de corte dos painéis comerciais, com base nos dados extraídos do modelo, com auxílio de *software* consolidado, baseado em algoritmos genéticos, para obtenção de referência;

- definição da função objetivo de otimização em *script* no Dynamo, para desenvolvimento da abordagem generativa, com o "Design Generativo" no Revit 2021.
- comparativo de resultados entre os quantitativos do plano de corte do projeto de referência, feito com a ferramenta "Esquema de Telas" do *software* TQS, com os obtidos pelo *software* baseado em algoritmos genéticos e com o *script* desenvolvido.

3.1. Objetivos de otimização das telas

O processo de otimização das telas soldadas envolvem dois principais aspectos, a definição da paginação dos recortes nas elevações, respeitando os trespasses e áreas de aço, e o encaixe destes recortes nos painéis comerciais, processo denominado de plano de corte. Este tem como função determinar a quantidade de painéis necessária para executar o detalhamento estrutural.

Desta forma, torna-se possível, avaliar o peso de aço na estrutura, sem perdas e com perdas, determinando assim, o índice de otimização. Portanto, a função objetivo deve ser maximizada pelas soluções que atingem o menor número de painéis.

3.2. Empacotamento bidimensional

Os problemas de otimização de corte, têm uma estrutura idêntica e podem ser descritos computacionalmente como problemas de empacotamento bidimensional. De maneira geral, são compostos por dois conjuntos de objeto: os objetos de grande tamanho, chamados de recipientes e os de menor tamanho, chamados de itens [8]. Desta forma, no caso deste estudo, os painéis comerciais são os recipientes e os itens são os recortes de tela.

Ademais, estes conjuntos, devem possuir duas dimensões geométricas e os itens devem ser selecionados e organizados em conjuntos que serão inseridos nos recipientes. As regras a serem respeitadas são: os itens de um conjunto devem caber totalmente no recipiente atribuído e nenhum item pode se sobrepor. Portanto, não se pode ter sobreposição dos recortes de tela dentro dos painéis e os recortes não poderão ultrapassar a linha limite que define os painéis.

Portanto, a função objetivo estabelecida será implementada com auxílio de programação visual, no plugin Dynamo do Revit, assim como as restrições definidas pelas regras. Desta forma, a busca pela resolução do problema, será realizada por meio de algoritmos genéticos implementados pela ferramenta "Generative Design" do Revit. Ademais, para referência e estudo dos padrões de corte, será desenvolvido um fluxo para definição dos planos de corte no *software* CutLogic2D, que tem como método de resolução algoritmos genéticos.

3.3. Extração de quantitativos do projeto referência

A modelagem do projeto foi desenvolvida com uma estruturação em vínculos Revit, de pavimento térreo, tipo e cobertura, posicionados em um arquivo hospedeiro. Para extração dos quantitativos necessários, foi criada uma tabela, considerando a estrutura de modelagem, da categoria "Structural Fabric Reinforcement", com os campos dos parâmetros "Type", "Mark", "Cut Overall Lenght", "Cut Overall Width" e "Cut Overall Mass", especificando assim, cada um dos cortes de tela, modelados no projeto. Estas informações foram exportadas para o excel, para integração com o CutLogic2D.

3.4. Fluxo de definição de planos de corte no CUTLOGIC2D

Com base na extração descrita no item 3.3, foi possível mapear estes parâmetros no CutLogic2D, criando o banco de dados dos "itens". Então, foram configuradas as dimensões dos painéis "recipientes", sendo: 6,00 metros x 2,45 metros. Por fim, o programa foi executado duas vezes, uma utilizando o padrão de corte "guilhotina" e a outra "aninhado", disponíveis no programa, obtendo-se o resultado mais favorável entre as duas. Assim, foi possível exportar as informações de: desenho dos planos de corte em formato CAD, a quantidade de painéis necessária, o índice de aproveitamento e a quantidade de "layouts" para cortar os painéis.

3.5. Abordagem generativa para definição dos planos de corte

Para o desenvolvimento da abordagem generativa no Revit, foi utilizada a versão 2021 do mesmo, tendo em vista que, o *addin* para criação de estudos generativos só é compatível a partir desta versão. A lógica foi desenvolvida no addin de programação visual, Dynamo 2.6.1.

Nele, foram definidas as variáveis, restrições e objetivos de otimização que compõem a lógica do *design*. Assim, o estudo no "Generative Design", funcionará como motor de geração de soluções com base na aptidão calculada.

De maneira geral, a rotina no Dynamo coletará no modelo as informações das telas soldadas, e inicialmente gerará uma quantidade mínima de painéis no tamanho comercial (Figura 3 – etapa A) e serão inseridos todos os cortes com pelo menos uma dimensão equivalente a do painel (etapa B). A partir disso, serão gerados pontos de referência dentro destes painéis, para a inserção dos demais cortes coletados do modelo nas áreas disponíveis (em vermelho na etapa C). A definição destes pontos (etapa D) e a quantidade de painéis adicionais que será necessário incluir, serão regidas a cada iteração, pela avaliação da área de cortes sobrepostos e a área de cortes fora dos painéis. A estrutura da lógica no Dynamo foi organizada em quatro agrupamentos principais: dados de entrada, geradores, avaliadores e dados de saída. Os dados de entrada são compostos pelo dados obtidos do modelo e os nós do tipo "slider", que representam as variáveis: quantidade de painéis, posição em X dos cortes dentro dos painéis e um número randômico "semente", para definir a ordem de inserção dos cortes nos painéis; os geradores são os trechos do *script* responsáveis por recriar

o plano de corte com base nos dados de entrada; os avaliadores definem a função objetivo para calcular a aptidão do que foi gerado; por fim, os dados de saída são os valores calculados para otimização: quantidade total de painéis, área de cortes fora dos retângulos que definem os painéis e quantidade de cortes que possuem áreas sobrepondo. Cada grupo foi classificado em um destes agrupamentos, através de um sistema de cores, para melhor documentação da lógica.

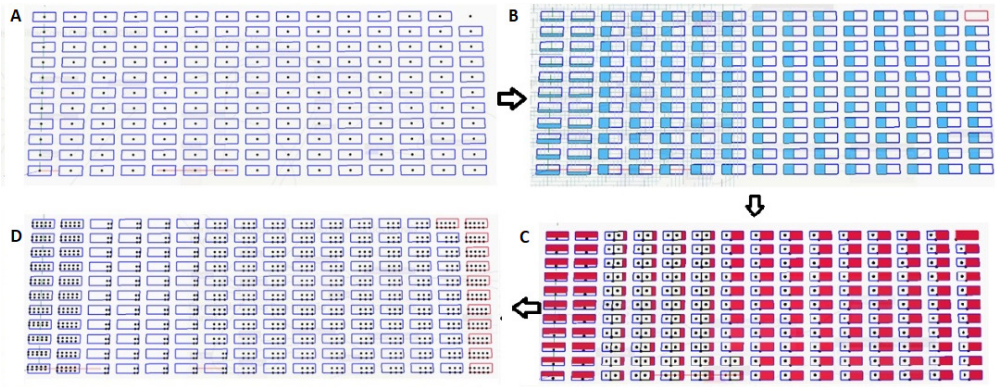


Figura 3
Processo de "preenchimento" dos painéis com os cortes de tela.

3.6. Estudo generativo

Com todas as etapas desenvolvidas no Dynamo, a rotina pode ser exportada para o "Generative Design", e assim, fica acessível para criação dos estudos. Os passos para definição do escopo do estudo estão atrelados ao que foi desenvolvido no Dynamo e os objetivos fins de para avaliação do estudo.

Considerando o método de otimização, a primeira etapa consiste em definir as variáveis que poderão ser manipuladas. As variáveis, são exatamente os nós configurados como dados de entrada, do tipo "slider". Estas, possibilitarão ao AG, fazer a busca por soluções em um maior espaço amostral, pela variação dos valores em cada iteração. Desta forma, torna-se possível aumentar a "variabilidade genética" dos indivíduos nas gerações.

A segunda etapa consiste em definir as metas de otimização para cada um dos dados de saída. Com base nessas definições e as funções de avaliação o algoritmo estabelecerá os indivíduos com maior aptidão para o atingimento dos resultados.

No caso da definição do plano de cortes, tem-se como objetivo, obter a quantidade mínima de painéis comerciais a serem comprados, atendendo os requisitos do projeto. A quantidade de sobreposições e a área de cortes fora dos painéis deve ser minimizada, e em um cenário de projeto deve ser igual a 0, para que se tenha um plano de corte real, tendo em vista que todos os "itens" devem estar dentro dos "recipientes" e não podem se sobrepor [8].

Por fim, deve-se definir a quantidade de populações e gerações, buscando o equilíbrio entre a demanda de indivíduos para percorrer o espaço de busca e o tempo de processamento que populações grandes e muitas gerações podem demandar.

Ademais, é válido ressaltar que a configuração de uma pequena população para muitas gerações, pode condicionar a pressão de seleção em uma área limitada de busca, assim como, poucas gerações para grandes populações, podem refletir em soluções pouco aprimoradas devido ao curto processo evolutivo.

Após o processar, obtem-se as soluções de maior aptidão, podendo avaliar as características de cada uma, e compará-las em gráficos para a tomada de decisão. Conforme na Figura 4.

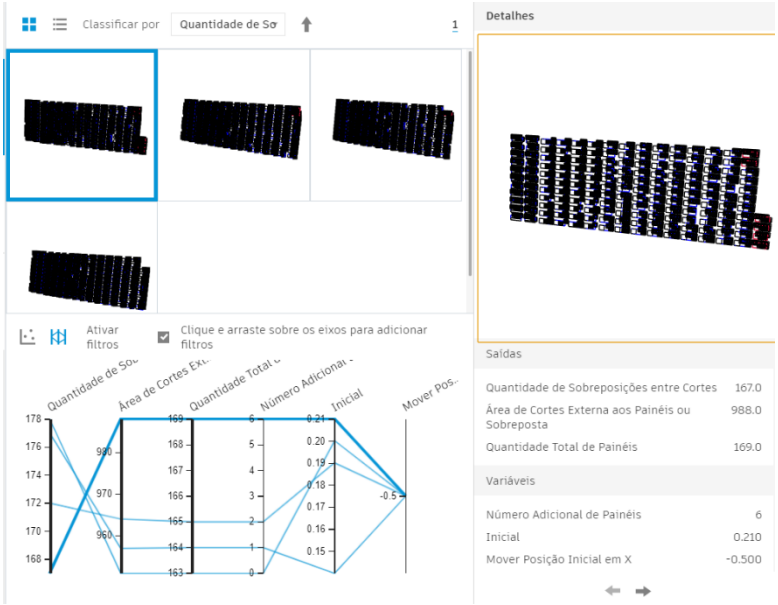


Figura 4
Visão geral da interface de resultados do estudo generativo.

4. Análise dos resultados

O plano de corte do projeto de referência indicava a necessidade de 171 painéis do tipo Q92 para realizar a armação das paredes. Com a utilização do CutLogic2D obteve-se o resultado de 170 painéis necessários. A partir do estudo generativo realizado com o *script* desenvolvido no Dynamo, não foi possível alcançar um resultado, restringindo a 0 o valor resultante nas sobreposições entre cortes e área de cortes externa aos painéis. Esta condição de processamento, é requisito para utilização do método em situação de projeto, pois, qualquer valor resultante nestes avaliadores, indica soluções não realísticas para definição do plano de corte. Portanto, não é possível comparar os resultados com o projeto de referência ou o CutLogic2D.

Para avaliar os resultados do algoritmo, foi feito um processamento sem restrições nos avaliadores, mas com metas de minimização das sobreposições e áreas externas aos painéis. Para isso, foi considerada a população com 20 indivíduos e um total de 10 gerações. Os indivíduos melhor ranqueados estão representados na Tabela 1.

Tabela 1
Indivíduos melhor raqueados.

Indivíduo	QTD de Painéis Q92	Área externa aos painéis	Sobreposição entre cortes
1	165	964	172
2	169	988	167
3	164	957	177
4	163	951	178

A partir dos dados da Tabela 1, pode-se inferir que, nas melhores soluções encontradas pelo algoritmo, houve sobreposição em 20% dos cortes, tendo em vista, a quantidade total em projeto de 887. Considerando que a área total dos cortes se aproxima de 2400 m², observa-se que, aproximadamente 40% está fora dos painéis. Ademais, a quantidade de painéis obtida, não é realista, diante dos valores resultantes superiores a 0 nos avaliadores. Essa ineficiência tende a estar principalmente relacionada com a forma de definição dos pontos de inserção dos cortes, dentro das iterações. Para o projeto utilizado, foram gerados aproximadamente 1100 pontos (Figura 3 – etapa D), para inserção de aproximadamente 650 cortes restantes. Como não foi criada nenhuma condição de penalização ou regra específica de seleção dos pontos, esta ficou muito generalista, resultando em definições pouco restritas, para um espaço de busca muito grande. Através de uma combinação entre os pontos (*p*) e itens (*i*) a serem alocados, pode-se ter a magnitude desse espaço de busca, que supera a $4x10^{300}$.

Destaca-se também o tempo de processamento, que nesse estudo foi de 30 minutos, enquanto o CutLogic2D, gastou 3 minutos para encontrar a melhor solução. A baixa performance da solução condiz com o elevado uso de programação visual adotado no desenvolvimento.

5. Considerações finais

Em relação ao principal objeto de estudo, as otimizações envolvendo algoritmos genéticos, o primeiro ponto a se destacar é que pelos resultados obtidos em comparação do CutLogic2D, com o projeto de referência, pode se observar uma equivalência, entre os processos de empacotamentos bidimensionais, em relação à métodos de otimização exatos, convencionais e de computação evolucionária.

Diante desse aspecto, o desenvolvimento de melhorias, na lógica proposta no módulo de "Generative Design" do Revit, para habilitar o uso em projetos, tem sentido no contexto de acelerar as tomadas de decisão no desenvolvimento do projeto, reduzir tempo de etapas e aumentar a gestão da informação, mas pouco afetaria na eficiência de redução de perda alcançadas com outras ferramentas.

As correções e melhorias levantadas estão relacionadas a melhor definição dos pontos para inserção, reduzindo o espaço de busca e tempo de processamento. Os métodos para seleção da ordem dos itens a serem inseridos, que envolvem processos

semelhantes aos utilizados na inserção dos dois primeiros conjuntos de cortes, demandam ciclos contínuos de verificação das dimensões dos elementos e reordenação com base nas posições de inserção, sendo necessário estruturas de repetição [8]. Essa implementação vai de encontro à melhoria de desempenho, pois, ambas demandam maior uso de programação textual, que no Dynamo, é viabilizado por Python. Desta forma, entende-se ser possível atingir resultados mais realísticos.

Referências

[1] ROHRMANN, J., "*Design* Optimization in Early Project Stages A Generative *Design* Approach to Project Development", Dissertação (Master of Science Program Civil Engineering) – Department of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich, Munich, 2019.

[2] NAGY, D. *Design* optimization**.** Medium, 2017. *apud* ROHRMANN, J., "*Design* Optimization in Early Project Stages A Generative *Design* Approach to Project Development", Dissertação (Master of Science Program Civil Engineering) – Department of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich, Munich, 2019.

[3] PIRES, S. L., "Otimização por Algoritmos Genéticos de pilares esbeltos de concreto armado submetidos à flexão obliqua", Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, Campinas, 2014.

[4] NOCEDAL, J.; WRIGHT, S. J. Numerical Optimization – Springer, 1999 *apud* PIRES, S. L., "Otimização por Algoritmos Genéticos de pilares esbeltos de concreto armado submetidos à flexão obliqua", Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, Campinas, 2014.

[5] HAUPT, R. L; HAUPT, S. L. Pratical Genetic Algorithms – 2ª ed – A Wiley Interscience Pubication – New Jersey, 2004 *apud* PIRES, S. L., "Otimização por Algoritmos Genéticos de pilares esbeltos de concreto armado submetidos à flexão obliqua", Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, Campinas, 2014.

[6] KICINGER, R.; ARCISZEWSKI, T.; JONG, K., "Evolutionary computation and structural *design*: a survey of the state-of-the-art", Computers & Structures, vol. 83, pp. 1943-1978, 2005

[7] NB5 16055:2012 Parede de concreto moldada no local para construção de edificações – Requisitos e Procedimentos, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2012.

[8] SILVA, E., "Otimização de estruturas de concreto armado utilizando algoritmos genéticos", Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, São Paulo, 2001.

As potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.31

Carlos Serra[1]

[1] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa*

Resumo

Um aproveitamento hidroelétrico consiste num sistema constituído pela estrutura resistente, as estruturas hidráulicas, o maciço de fundação e a albufeira. Este tipo de empreendimento envolve desafios hidrológicos, estruturais e geotécnicos, apoiados por ensaios de prospeção e de caracterização dos materiais e planos de observação e instrumentação.

As barragens de betão são estruturas que apresentam um elevado risco potencial e um elevado custo operacional, associado à perda de funcionalidade, no caso de rotura. O controlo de segurança estrutural visa reduzir esse risco e divide-se, em geral, em três atividades: i) monitorização, i.e., na exploração do sistema de observação e na realização de inspeções visuais regulares e de ensaios de caracterização; ii) análise e interpretação dos resultados da observação através de modelos estatísticos e modelação numérica, iii) avaliação da segurança e tomada de decisão.

A metodologia Building Information Modelling (BIM) permite definir uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, desde a fase de projeto, construção, exploração e abandono e demolição.

Este trabalho descreve as várias vertentes do controlo de segurança estrutural de barragens de betão, com particular foco na fase de exploração. Discutem-se as principais potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada estas atividades, em particular a aplicação de um sistema de classificação, a definição de regras de modelação de objetos específicos e definição de parâmetros, a interligação entre o modelo, os sistemas de gestão de informação existentes e os resultados das inspeções visuais, o apoio à análise estrutural e à tomada de decisão.

1. Introdução

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [1] enquadra as várias atividades relacionadas com o controlo de segurança das grandes barragens em Portugal e define os vários intervenientes e as suas responsabilidades. De acordo com o RSB, grandes barragens correspondem a barragens com mais de 15,0 m de altura (desde o ponto mais baixo da inserção na fundação) ou a barragens de altura igual ou superior a 10 m que originem uma albufeira com volume superior a 100.000 m^3.

Os aproveitamentos constituem sistemas complexos que englobam a estrutura, as estruturas hidráulicas, o maciço de fundação e a albufeira. Cada um destes elementos envolve um risco potencial para a ocorrência de danos nas populações vizinhas, bem como danos materiais e ambientais significativos. O RSB visa a definição das exigências legais associadas ao projeto, construção, primeiro enchimento, exploração, manutenção e abandono destes elementos. Como complemento ao RSB, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) disponibilizou um conjunto de documentos que especificam mais detalhadamente as atividades [2].

O controlo de segurança estrutural divide-se, em geral, em três atividades: i) monitorização, *i.e.*, na exploração do sistema de observação e na realização de inspeções visuais regulares e de ensaios de caracterização; ii) análise e interpretação dos resultados da observação através de modelos estatísticos e modelação numérica, iii) avaliação da segurança e tomada de decisão.

A monitorização das ações e da resposta das estruturas é uma das principais atividades para o controlo de segurança, não só a curto prazo para manutenção corrente mas também para a eventualidade de eventos extremos e a avaliação e deteção de cenários de deterioração. Os dados de monitorização devem ser utilizados na análise e interpretação do comportamento da estrutura e, no caso de serem identificados desvios ao comportamento expectável que poderão comprometer a segurança, devem ser tomadas medidas por forma a restabelecer o nível de segurança adequado.

Em Portugal, o controlo de segurança das barragens compete às entidades da Administração Pública (APA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, e Autoridade Nacional de Proteção Civil, ANPC), à Comissão de Segurança de Barragens (CSB) e ao dono de obra. Estas entidades interagem entre si, desde a fase de projeto até ao eventual abandono no sentido de manter o nível de segurança destas obras. O desafio associado ao controlo de segurança é considerável dada a complexidade e quantidade de informação gerada neste tipo de obras. Para além disso, desde o início do projeto até ao final da construção poderão decorrer décadas.

A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) permite definir uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, desde logo para melhor interação e troca de informação entre os intervenientes, definição de nomenclaturas universais para os diversos elementos e atividades, uniformização da informação necessária ao desenvolvimento de cada atividade,

desenvolvimento de modelos tridimensionais para o apoio ao projeto, construção e exploração das obras, desenvolvimento de ferramentas de automatização para o tratamento de dados de monitorização e de apoio à decisão, entre outros.

Recentemente, Argyroudis *et al.* [3] exploram as possibilidades e desafios relacionados com utilização de tecnologias digitais para aumentar a resiliência das infraestruturas face às ações climáticas. Apontam a *Internet of Things* (IoT), os *Digital Twins*, realidade virtual e aumentada, as nuvens de pontos, a Inteligência artificial e a metodologia BIM como tecnologias emergentes para apoiar decisões fiáveis e reduzir as incertezas relacionadas com a avaliação de segurança. O trabalho revisão bibliográfica de Panah e Kioumarsi [4] permite ter uma visão global da importância crescente das aplicações BIM na monitorização e manutenção de estruturas. Jeong *et al.* [5] apresentam uma *framework* para a gestão da informação associada à monitorização de pontes com a integração dos instrumentos instalados em obra num modelo tridimensional, os resultados obtidos ao longo do tempo e imagens de tráfego. Por sua vez, Sacks *et al.* [6] demonstram as potencialidades de um sistema de gestão integrado da monitorização de pontes que inclui a utilização sistemática de nuvem de pontos, na perspetiva *Scan to BIM*. Este trabalho apresenta a mais-valia de se apoiar numa extensão para pontes da *Industry Foundation Classes* (IFC).

A metodologia BIM tem sido adotada cada vez mais correntemente em Portugal, tanto na fase de projeto [7], [8] como na fase de manutenção [9], [10], sendo de destacar o trabalho aplicado de Sousa et al. [9] através do qual demonstram as possibilidades da incorporação dos resultados de inspeções em pontes num modelo BIM, tendo em consideração regras de modelação, níveis de desenvolvimento e metodologias de representação. Existem também exemplos de estudos específicos aplicados a barragens de betão [11]–[15] e a barragens de aterro [16]. Díaz *et al.* [15] apresenta algumas aplicações da metodologia BIM aplicada a estruturas hidráulicas, incluindo o desenvolvimento da plataforma ODIS – *Online Dam Information System* para a integração dos dados de observação num modelo tridimensional de uma barragem de betão. O estudo de Heleno [16] incidiu particularmente em barragens de aterro e permitiu desenvolver uma metodologia para a organização e exploração dos dados de observação e integração num modelo tridimensional em BIM [16].

Esta comunicação tem como objetivo a apresentar as principais atividades envolvidas no contexto do controlo de segurança estrutural de barragens de betão, com particular foco na fase de exploração, dar o enquadramento da aplicação da metodologia BIM neste tipo de atividade e apontar os desafios da sua implementação em Portugal.

2. Implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão

2.1. Principais elementos para implementação BIM

À semelhança de outros exemplos [11], [16]–[18], existe a necessidade de estabelecer uma estratégia para a implementação BIM, neste caso no contexto e premissas do RSB. A estrutura do RSB constitui uma base para o estabelecimento da responsabilidade de cada interveniente e da relação entre eles. Dado o seu âmbito alargado, não restringe a utilização de ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades.

A definição de uma estratégia para a realidade portuguesa passa necessariamente pela concertação dos vários intervenientes, nomeadamente a APA, o LNEC, a ANPC, a CSB e os donos de obra. As diferentes capacidades de investimento dos donos de obra existentes em Portugal constituem, desde logo, um desafio para a implementação de uma metodologia BIM abrangente, particularmente para obras já existentes. Apesar disso, poderão ser desenvolvidos procedimentos centralizados para o apoio a esta implementação tanto para obras novas como para obras existentes de grandes dimensões.

Nesta comunicação propõe-se, de uma forma geral, os elementos para a definição dessa estratégia e identificam-se as várias componentes existentes no controlo de segurança de barragens, em particular os integrantes no sistema de gestão da informação e no modelo BIM. A estrutura dos processos durante a aplicação da metodologia BIM deverá seguir, com as adaptações necessárias, o definido na EN ISO 19650-1:2018 [19], na EN ISO 19650-2:2018 [22] e no relatório técnico CEN/TR 17439 [23].

Fazendo um paralelo com as atividades correntes da industria AEC, a natureza da atividade de controlo de segurança aproxima-se da manutenção de ativos, o que corresponde a um nível de avançado do processo de produção de informação [19]. Um dos principais desafios relaciona-se com adaptação das normas à realidade portuguesa do RSB e às especificidades das atividades desenvolvidas, em particular durante a fase de exploração (por exemplo, a execução e incorporação dos resultados de inspeções, a utilização de um sistema de gestão da informação integrado ao modelo BIM, a existência de intervenientes reguladores da Administração Pública). A identificação e relação entre os intervenientes, nomeadamente o papel das Autoridades Nacionais, a produção e trocas de informação nas várias fases do empreendimento e a transposição dos conceitos base definidos nas normas de uma forma transversal a nível nacional deverão ser objeto de discussão no meio técnico.

A Figura 1 representa esquematicamente os elementos constantes da atividade de controlo de segurança de barragens e a sua relação com um modelo BIM, que abarca toda a informação existente num determinado projeto, e um sistema de gestão da informação no âmbito do controlo de segurança. A utilização de um sistema de classificação e da filosofia *OpenBIM* deverão ter um papel central na estratégia de implementação, uma vez que permitem a ligação entre as várias componentes da

atividade e a interoperabilidade entre intervenientes. Os elementos identificados são: i) o sistema de monitorização; ii) as inspeções visuais; iii) os estudos específicos de monitorização; iv) a geometria e dados de construção; v) os ensaios e caracterização da fundação e dos materiais; vi) os dados e resultados de monitorização; vii) a interpretação, análise e controlo de segurança; e, viii) a documentação. Cada componente constitui uma parcela relativa à atividade de controlo de segurança que deverá estar incorporada na estratégia para o processo de implementação BIM.

O *Sistema de Información web de Presas* (*Online Dam Information System* – ODIS) desenvolvido pela empresa OFITECO e ViCon constitui um exemplo de uma ferramenta BIM que incorpora os dados de monitorização e um modelo tridimensional BIM [15]. O sistema permite a visualização dos dados através de séries temporais, a definição de modelos estatísticos e de avisos e alertas para a gestão dos planos de emergência através de um modelo tridimensional da barragem onde a informação pode ser acedida e visualizada, e incorpora a informação recolhida em inspeções visuais na base de dados. Por sua vez, Heleno [16], através da utilização de diversas plataformas tecnológicas, propôs um *workflow* para a integração dos dados de monitorização num modelo BIM de uma barragem de aterro, permitindo uma melhor perceção do comportamento da estrutura.

Estes exemplos demonstram as possibilidades e vantagens de um sistema integrado, no entanto, constituem apenas a parte tecnológica da metodologia BIM aplicada ao controlo de segurança estrutural. A par destes desenvolvimentos tecnológicos, os intervenientes neste tipo de atividades, em particular as instituições públicas envolvidas, poderão contribuir para a uniformização de conceitos, termos e processos, a nível nacional, no sentido de melhorar a comunicação e as trocas de informação. Esta contribuição poderá ser feita através da publicação de guias e recomendações.

Assim, os primeiros passos para a implementação BIM no contexto do controlo de segurança de barragens deverão incluir:

- Definição dos usos BIM associados a este tipo de atividade, para cada fase da obra;
- Definição dos requisitos de informação e níveis de informação necessários, segundo a EN 17412-1:2020 [22], para cada uso BIM, objeto e fase da obra;
- Definição de mapas de processos para cada tipo de atividade, definindo as interações e trocas de informação entre cada interveniente;
- Utilização de um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS) e atualização com termos relacionados com barragens de betão e o controlo de segurança estrutural;
- Definição de regras de modelação para a criação uniformizada de modelos e objetos BIM;
- Atualização da especificação do formato *Industry Foundation Classes* (IFC) no sentido de permitir a interoperabilidade entre diferentes ambientes BIM;

- Desenvolvimento de uma plataforma colaborativa para a troca de informação entre os intervenientes e das premissas para a sua utilização, preferencialmente fundada no formato *BIM Collaboration Format* (BCF);
- Constituição do sistema de gestão de informação para a interação com o modelo BIM e integração de módulos específicos para a informação obtida em ensaios e caracterização de materiais, em inspeções visuais e para a análise e interpretação dos resultados;
- Desenvolvimento de ações de formação sobre a utilização da metodologia BIM para a comunidade técnica.

Figura 1
Componentes do controlo de segurança estrutural de barragens e interligação entre o sistema de gestão da informação e o modelo BIM, no contexto da metodologia BIM.

Centrados na fase de projeto, alguns autores enumeram os desafios da implementação BIM, nomeadamente a mudança cultural, a lenta curva de aprendizagem, a formação e a facilidade de aquisição de competências dos intervenientes, a maior necessidade de envolvimento de equipa, a interoperabilidade, os direitos de autor e responsabilização, a elevada dimensão dos projetos [11], [23]. O trabalho de Monteiro e Lima [18] descreve, de uma forma geral, os desafios de implementação de metodologias BIM na indústria da construção, tipifica os perfis de implementação (equipas de projeto, empresas de construção, gestores de operação de edifícios e donos de obra e promotores) e apresenta alguns princípios operacionais por forma a otimizar o processo. Os princípios operacionais descritos são genéricos e válidos num enquadramento de alto nível, no entanto podem ser transpostos ao contexto do controlo de segurança de barragens, nomeadamente, a sistematização de processos de modelação e processos de trabalho em geral, a interação de modelos BIM com bases de dados externas e a utilização de plataformas colaborativas para partilha e submissão formal de modelos.

2.2. Definição de usos BIM e dos respetivos níveis de informação necessários

Decorrente dos objetivos associados à implementação BIM para o controlo de segurança, surgem os usos BIM que constituem as atividades/procedimentos que permitem atingir esse objetivo, através de determinados processos. Na Tabela 1 listam-se alguns exemplos de usos BIM nas fases de exploração, com especial foco no controlo de segurança de barragens de betão, para cada fase do empreendimento.

Tabela 1
Exemplos de objetivos, usos BIM e implementação.

Fase	Objetivo	Uso BIM	Implementação
Exploração	Obter uma representação tridimensi onal do sistema de monitorização	Modelação tridimensional	Criar objetos BIM paramétricos específicos para cada dispositivo de monitorização, com base na informação existente no Sistema de Gestão de Informação. Definir o nível de informação necessária associada a cada um dos objetos BIM.
	Apoio à interpretação e decisão	Registo e visualização de resultados de observação no modelo BIM	Potenciar a sincronização entre o modelo BIM e o Sistema de Gestão de Informação de forma a atualizar automaticamente ambos os sistemas.
		Registo e visualização de resultados de ensaios e de caracterização no modelo BIM	Desenvolver uma base de dados para a gestão dos resultados de ensaios obtidos durante a construção. Transpor os resultados dos ensaios para parâmetros de objetos definidos para o efeito.
		Visualização de alertas no modelo BIM	Estabelecimento de critérios para definição de alertas para cada tipo de instrumento. Definição de procedimentos para a visualização de alertas.
	Apoio às inspeções visuais	Visualização de ocorrências no modelo BIM	Normalizar conceitos, definições, propriedades e parâmetros (adaptados dos guias da ICOLD e da experiência portuguesa). Criar objetos BIM para cada tipo de ocorrência.
		Execução automática de fichas e relatórios de inspeção	Desenvolver um processo sistemático e uma plataforma para o registo de ocorrências e sincronização automática com o modelo BIM e com o sistema de gestão da informação. Automatizar a criação de fichas e relatórios de inspeção com base na informação disponível no modelo BIM.
		Obtenção de nuvens de pontos dos paramentos	Utilizar o modelo BIM georeferenciado para a registo e comparação de estados da obra obtidos por levantamento de nuvem de pontos

De acordo com a EN 17412-1:2020 [22], a base para o nível de informação necessário é a definição do objetivo ou uso BIM (razão pela qual se define a informação), o momento de produção e entrega da informação, de quem e para quem é a informação e sobre que objeto se trata a informação. A informação é definida, em termos de Informação Geométrica, Informação Alfanumérica e Documentação (Figura 8 da

EN 17412-1:2020 [22]). Ao especificar um nível de informação necessário de um determinado objeto, numa determinada fase do processo, define-se um detalhe geométrico e de informação do modelo adequado às necessidades de cada uso BIM. As necessidades de detalhe geométrico e de detalhe de informação alfanumérico poderão não coincidir para muitos dos objetos relacionados com o controlo de segurança e monitorização, por exemplo, o registo de uma ocorrência no decorrer de uma inspeção visual recorrer ao conceito de *Patch* com geometria simplificada, localização georreferenciada no modelo BIM e as diversas propriedades que lhe dizem respeito [9] ou a representação de instrumentos de observação de uma forma simplificada mas que contenha informação relativa à data de instalação, previsões de manutenção, fornecedores, constantes de calibração, estado operacional, resultados de observação, entre outros.

2.3. Utilização de sistema de classificação e interoperabilidade

Tendo como objetivo o desenvolvimento ou utilização de modelo BIM que integre a informação necessária no desenrolar das várias atividades de um determinado projeto, o elevado grau de complexidade e de informação existente implica a organização e sistematização de cada elemento de uma forma universal. Assim, um dos primeiros desafios na implementação BIM das atividades de controlo de segurança de barragens constitui a estruturação dos principais conceitos, definições, elementos e atividades que compõem o sistema barragem-fundação-albufeira, nomeadamente:

- Constituintes do sistema (por exemplo, maciço de fundação, barragem, órgãos hidráulicos, albufeira, ...);
- Tipos de barragens (por exemplo, gravidade, arco-gravidade, abóbada, contrafortes);
- Definições geométricas (por exemplo, blocos, camadas de betonagem, juntas de betonagem, juntas de contração, encontros, paramentos, galerias, ...);
- Atividades (por exemplo, consolidação da fundação, impermeabilização da fundação, injeção de juntas de contração, controlo de segurança, observação, inspeções visuais, ensaios laboratoriais, ensaios in situ, análise e interpretação, ...);
- Definições do sistema de monitorização (por exemplo, fios de prumo, medidores de movimentos de junta, extensómetros de embeber no betão, extensómetros de varas, ...).

Esta estruturação deverá integrada um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS) existente [24], seguindo os pressupostos pré-definidos, por forma a haver maior compatibilidade entre especialidades e uma base comum para a identificação de objetos e para a interligação entre o modelo BIM e o sistema de gestão da informação.

No seguimento dos desenvolvimentos do projeto SECClasS (Sustainability Enhanced Construction Classification System), em consequência da análise de vários CICS [25], foi proposto o sistema de classificação Uniclass 2015 [26] para o contexto português.

Atualmente, está a ser desenvolvida uma ferramenta de pesquisa do Sistema de Classificação SECClasS [27], que constitui a tradução e adaptação para português do sistema Uniclass 2015.

Esta tarefa pode ser muito facilitada pela estrutura já proposta pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (International Commission on Large Dams, ICOLD) através de disponibilização e codificação de vários termos relacionados com a engenharia de barragens [28]. De referir que durante a implementação do sistema de gestão da informação gestBarragens (§2.4) foi já desenvolvida uma estrutura que define as relações entre determinados objetos (por exemplo, as relações entre elementos e sub-elementos estruturais: barragem é composta por blocos e juntas de contração; a relação entre sub-elementos e instrumentos: grupos de extensómetros embebidos nos blocos e medidores de movimentos de junta nas juntas de contração).

Em conjunto com a integração num sistema de classificação, é necessária também a extensão destes elementos ao formato *Industry Foundation Classes* (IFC), seguindo a norma [29], à semelhança do que tem sido feito para outros tipos de infraestruturas (portos, caminhos de ferro, estradas) e para barragens de betão [30].

2.4. Sistema de gestão da informação

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [1] determina que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) deve criar e manter atualizado um arquivo digital com os dados e resultados de observação das grandes barragens portuguesas. Para esse efeito, o LNEC desenvolveu um sistema de informação, gestBarragens [31], [32] que inclui uma base de dados estruturada, assim como diferentes módulos operacionais que permitem a gestão dos dados e resultados de observação, das inspeções visuais e da documentação técnica, a visualização de resultados gráficos e o apoio à interpretação do comportamento [32]. Este sistema de gestão de informação inclui já uma estrutura de dados que poderá servir de base para a definição do modelo BIM, sendo que a cada tipo de instrumento estão definidos diferentes atributos que podem corresponder diretamente a propriedades nos objetos BIM [31].

2.5. Modelo BIM

No seguimento do descrito anteriormente, é essencial o desenvolvimento de modelos BIM que contemplem não só a informação geométrica, através de objetos BIM paramétricos construídos segundo critérios de modelação pré-definidos, mas também a informação necessária à sua utilização prática. A integração da informação recolhida em inspeções visuais e nas campanhas de observação e a sua visualização de forma eficaz e intuitiva é também um ponto a considerar [9], [16].

Idealmente, o modelo BIM deverá partir da fase de projeto, ser adaptado durante a fase de construção e disponibilizado como modelo BIM georeferenciado *as-Built* para os vários intervenientes no controlo de segurança, integrando as diversas especialidades, incluindo o sistema de monitorização.

A pré-existência de um sistema de classificação adaptado à realidade das barragens, de regras para a modelação e criação de objetos e instruções para a utilização e exportação para formato aberto, são requisitos para o funcionamento de um sistema integrado de BIM. A Comissão Técnica de Normalização BIM Nacional (CT197) tem vindo a contribuir com recomendações para a uniformização da modelação em BIM que poderão ser adotadas no desenvolvimento de objetos BIM no contexto de barragens [33].

Como foi referido, estes requisitos constituem a base do processo colaborativo e devem ser estabelecidos *à priori*, com a participação dos diferentes intervenientes.

3. Considerações finais

Esta comunicação tem como objetivo apresentar a atividade relacionada com o controlo de segurança estrutural de barragens de betão, bem como o contexto normativo português, enumerar as condições necessárias para estabelecer uma estratégia de implementação da metodologia BIM aplicada a esta atividade e identificar os principais desafios.

É expectável que a implementação da metodologia BIM, adaptada ao RSB, traga muitas vantagens no desenrolar dos processos de controlo de segurança, nomeadamente através da definição clara das interações entre intervenientes e respetivas trocas de informação, na existência de um modelo BIM e um sistema de gestão de informação que integrem a informação necessária para os usos pré-definidos. Desde logo, a integração de informação não geométrica, incluindo resultados de observação e de inspeções, serão uma mais-valia para a interpretação do comportamento e para o apoio à decisão.

Referências

[1] RSB, "Regulamento de Segurança de Barragens". 2018.

[2] APA, "Documentos técnicos de apoio ao regulamento de segurança de barragens (RSB)". APA, Lisboa, 2018.

[3] S. A. Argyroudis *et al.*, "Digital technologies can enhance global climate resilience of critical infrastructure", *Clim. Risk Manag.*, p. 100387, Dec. 2021.

[4] R. S. Panah and M. Kioumarsi, "Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review", *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 3, pp. 1-26, 2021.

[5] S. Jeong, R. Hou, J. P. Lynch, H. Sohn, and K. H. Law, "An information modeling framework for bridge monitoring", *Adv. Eng. Softw.*, vol. 114, pp. 11-31, Dec. 2017.

[6] R. Sacks *et al.*, "SeeBridge as next generation bridge inspection: Overview, Information Delivery Manual and Model View Definition", *Autom. Constr.*, vol. 90, no. October 2017, pp. 134-145, 2018.

[7] J. Granja, José; Silva, Patrícia; Azenha, Miguel; Lino, José Carlos; Flores, "Bim Na Pormenorização De Estruturas De Betão Armado Pré-Esforçado", *2º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, no. 1, pp. 261-270, 2018.

[8] P. H. Pereira, A. P. Assis, and M. Azenha, "Proposta de um mapa de processos para o projeto de edifícios adequado à realidade portuguesa", *2º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, no. 1, pp. 147-156, 2018.

[9] G. Sousa, M. Azenha, J. Matos, and V. Brito, "Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de obras de arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto", *2º Congr. Port. BIM*, pp. 519-528, 2018.

[10] P. J. S. Cruz, M. Azenha, R. Mateus, T. Magalhães, J. Granja, and R. Lobão, "BIM as a tool for setting and infrastructure management", pp. 1-7, 2019.

[11] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras Hidroelétricas", Universidade do Minho, 2015.

[12] A. Marques, M. Azenha, and A. Ferreira, "BIM no projeto de estruturas de obras hidroelétricas", in *1º Congresso Português de Building Information Modelling*, 2016, pp. 163-172.

[13] L. Fernandes, "An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams", Universidade do Minho, 2015.

[14] B. Neto, "BISEL: A Specialised language for data integration on infrastructure information models", Universidade de Lisboa, 2019.

[15] S. Díaz *et al.*, "Building Information Modeling (BIM) en Ingeniería Hidráulica", in *VI Jornadas de Ingeniería del Agua*, 2019, no. 1, pp. 1-5.

[16] A. Heleno, "BIM for information management in structural safety control of embankment dams BIM for information management in structural safety control of embankment dams", Universidade do Minho, 2021.

[17] P. J. S. Cruz and M. Azenha, "The challenges of adopting BIM for setting and infrastructure management of University of Minho", *E3S Web Conf.*, vol. 48, pp. 4-7, 2018.

[18] A. Monteiro and J. Lima, "Implementação de processos BIM: desafios na aplicação da metodologia em diferentes enquadramentos da indústria da construção," in *2º Congresso Português de Building Information Modelling*, 2018, pp. 89-98.

[19] CEN, "EN ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles". CEN, Brussels, p. 34, 2018.

[20] CEN, "EN ISO 19650-2:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the as". CEN, Brussels, p. 38, 2018.

[21] T. Report, R. Technique, and T. Bericht, "CEN/TR 17439:2020 - Guidance on how to implement EN ISO 19650-1 and -2 in Europe," 2005.

[22] CEN, "BS EN 17412-1:2020 - Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles". CEN, p. 28, 2020.

[23] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, "Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas", *Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012*, pp. 1-10, 2012.

[24] P. Couto, M. J. F. Silva, and F. Pinho, "Contributo para um CICS Nacional: Tabelas de Produtos, de Propriedades, de Formas de Informação, de Gestão e Direção de Projeto e de Elementos", pp. 877-887, Jan. 2021.

[25] LNEC, "Análise de conceitos , normas e sistemas de classificação da informação da construção". SECCLasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System, Lisboa, Portugal, p. 72, 2021.

[26] "Uniclass 2015 | NBS". [Online]. Available: https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015. [Accessed: 31-Dec-2021].

[27] "Sistema de Classificação SECClasS | SECClasS". [Online]. Available: https://secclass.pt/sistemaclassificacao/. [Accessed: 31-Dec-2021].

[28] "ICOLD CIGB > Dictionary". [Online]. Available: https://www.icold-cigb.org/GB/dictionary/dictionary.asp. [Accessed: 31-Dec-2021].

[29] ISO, "ISO 16739-1:2018 – Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema". Geneva, Switzerland, p. 1474, 2018.

[30] S. Zhang and P. Jiang, "Implementation of BIM + WebGIS Based on Extended IFC and Batched 3D Tiles Data: An Application in RCC Gravity Dam for Republication of Design Change Model", *KSCE J. Civ. Eng.*, pp. 1-20, Jul. 2021.

[31] A. Silva, H. Galhardas, J. Barateiro, and H. Matos, "Data Analysis Features of the GEST BARRAGENS System", in *Second International Conference of Innovative Views of .NET Technologies*, 2006.

[32] A. T. De Castro, J. Mata, J. Barateiro, and P. Miranda, "Information Management Systems for Dam Safety Control. The Portuguese Experience", *54° Congr. Bras. do Concreto*, no. 1, pp. 1-13, 2012.

[33] CT-197, "Regras de modelação de objetos BIM", Lisboa, 2021.

Compression-only precast block construction system using BIM and custom interoperability tools for collaboration between engineers and architects

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.32

Lombe Mutale[1], **Carlos Gomes**[2], **Bruno Figueiredo**[3], **Miguel Azenha**[4]

[1] *Universidade do Minho, Guimarães*

[2] *Shay Murtagh Precast Ltd, Raharney, Mullingar, Co. Westmeath, Ireland*

[3] *Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0001-8439-7065*

[4] *Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-1374-9427*

Abstract

Currently, the construction industry contributes 8% per year to greenhouse gas emissions which is more than 3 times that of the aviation industry. Steel corrosion affects the durability of reinforced concrete structures, reduces their service life, and increases the lifecycle maintenance costs. For these reasons, this study proposes collaborative BIM-based workflows and design for a new sustainable compression-only structural block construction system. Computational and parametric design were used to create a compression-only shell structural shape through form-finding in Rhinoceros/Grasshopper 3D. Once the overall structural shape was obtained, it was thickened and tessellated thereby defining its discrete elements. The construction sequence of precast elements was implemented automatically with a cellular automata algorithm. Then, a custom tool was created that linked the structural shape generated to the structural analysis software DIANA and automated the phased analysis which incorporated the construction sequencing. Thereafter, finite element analysis (FEA) was used to evaluate the structural behaviour. Additionally, a collaborative workflow was set up such that engineers and architects can work together to create the most optimal structural shape in a BIM environment mediated through computational design tools. Through a case study to evaluate the framework, results show that with the proposed workflows, an infinite number of arbitrary compression-only structural shapes can be defined using form-finding principles. Although, there were tensile stresses present during the phased construction they can be further minimised with the use of minimal construction supports.

1. Introduction

In recent decades, the construction industry has been criticized due to its continued use of high energy-consuming materials such as steel and concrete in a manner that is wasteful and neither optimised nor sustainable thereby limiting its productivity [1]–[3]. Moreover, unlike other industries that have embraced digitisation and automation, the construction industry lags behind and has made little progress on this front and is far behind the manufacturing sector as well as the total economy trend [4]. Other critical aspects of contemporary construction materials are their durability and lifecycle. For instance, concrete has been the main material used for construction [2] because of its mechanical properties, ease of production, and ability to be moulded to the desired geometry. Although some historical concrete structures such as the Pantheon in Rome, have been standing for more than 2000 years, modern concrete structures require the use of steel reinforcement in addition to the concrete to resist external loading effects. The problem is that steel reinforcement is prone to rust, and this can happen when the concrete cracks and there is ingress of deleterious materials that reach the steel. This affects the durability of the entire structure and reduces its service life or increases rehabilitation and maintenance costs [5].

Shell structures have a thickness much smaller than their other dimensions. Due to their geometrical properties, these structures tend to have a reduced flexural stiffness and thus their stresses develop mainly via membrane action. In the 20th century some of the most extraordinary buildings were thin shell concrete structures by the likes of Pier Luigi Nervi, Felix Candela and Eero Sarinen. The advantages of shell structures are that, first, they are natural looking forms. Secondly, large open spaces and areas can be created without the need to use supports in between them. Third, due to their thinness, use of the membrane action and the high strength to weight ratio, the design is more efficient, and less material including steel reinforcement can be used. This makes them more environmentally friendly and durable [6], [7]. However, shell structures, particularly concrete ones, have some disadvantages which have led to their decline in use and popularity. The main one is the cost of the formwork which can be as much as a third of the total concrete cost on the project or 15% of the total construction cost. This cost is usually due to the difficulty and complexity in setting up and dismantling the intricate formwork and scaffolding [7], [8] and is therefore significantly increased when it comes to shapes from form-finding processes [9], [10]. Nonetheless, nowadays, innovative options for customisable formwork are being considered with the help of technology, computational design and inspired by the textile industry, but these are yet to become mainstream [11], [12].

2. Background

The present research has been inspired by and developed within the framework of the ongoing research project called "Perpectum". Perpectum combines the Latin words “Perpectuum” meaning everlasting and “tectum” meaning shelter [13]. Perpectum proposes an efficient and cost-effective construction by using i) sustainable

concrete with no rebar thereby avoiding corrosion and leading to indefinite durability ii) customisable moulds for concrete structural panels iii) permanent pre-stressing cables, and iv) Integrated Project Delivery [13].

Consequently, this work proposes compression-only structures tessellated into precast panels cast on a flexible mould, constructed with in-situ self-sensing prestressing cables.

The panel size can be approximately 1m x 1m with ± 200mm (see Figure 1) to enable easy lifting without complex machinery required. A thickness of 300mm is selected preliminarily to assess structural performance. Some of the technological aspects including modular fabrication could be available with the current technology [11], [14].

Ideally, the prestressing cables employed in Perpectum are low stress, non-metallic and cost-effective members made up of multiple layered and braided cables similar to those used in the marine industry. However, in this study, 20mm diameter steel cables are used to evaluate the validity of the proposed system. They can be replaced by marine cable technology, as they are mere unbonded tendons, and are useful mostly during construction. The construction system proposes sequential assembly of the concrete panels similar to masonry construction, to maintain robustness during construction. Each concrete panel is prestressed in two directions as it is added to the structure to maintain stability. The idea is to have technology that allows the concrete panels to have external anchor heads for the post tensioning that are decoupled after stressing to allow the next concrete panel to be placed as shown in Figure 1.

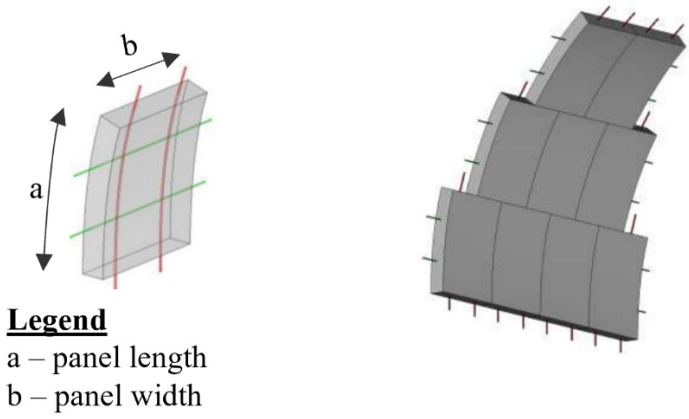


Figure 1
Perpectum individual and combined panel concept.

3. Proposed BIM framework

A workflow can be conceptualized to achieve the principles of Perpectum. For the sake of simplification, the workflow is limited to a simple project where the client, an architect and a structural engineer are the only role players. It is assumed that there are no Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) requirements in the project and responsibilities such as detailing are performed by the architect rather than a

draughtsperson. The starting point is a client brief describing the project requirements, which results in a completed BIM model detailed enough to be handed over to the contractor for construction. Throughout the workflow, it is important that the structural engineering and architectural disciplines collaborate and provide continuous feedback to each other to prevent information latency. Similarly, the interoperability tools presented will prevent errors and information loss during the data exchanges.

The framework is shown in Figure 2 and Figure 3. The figures make use of Business Process Model and Notation (BPMN) and describe the workflow for a compression--only form-finding design and structural analysis of the construction system. The main themes of Processes 1, 2 and 3 are the Geometry Definition, BIM modelling and Structural Analysis respectively. Each of the processes are described in greater detail forthwith.

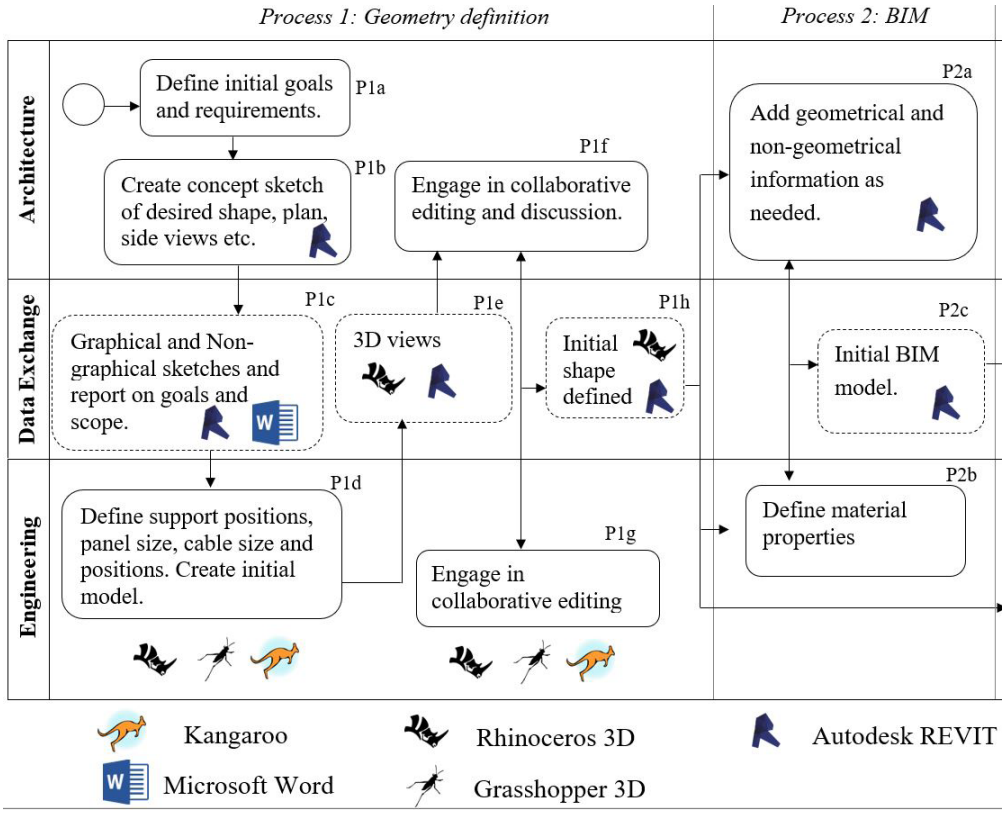


Figure 2
Collaborative BIM--based workflows – Process 1 and 2.

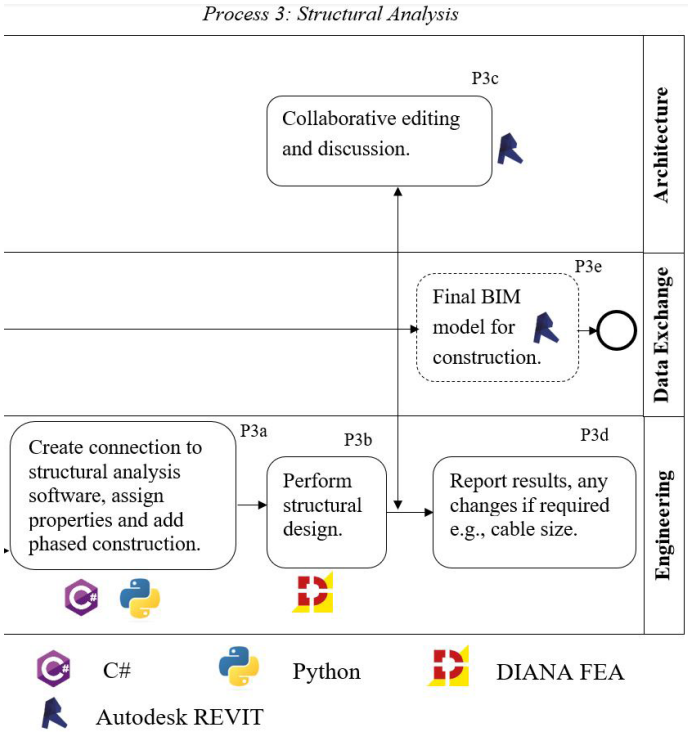


Figure 3
Collaborative BIM--based workflows – Process 3.

Process1, Geometry Definition is the most important process as its implementation affects the downstream processes. Initially, it requires the architect to obtain a brief from the client and produce the project scope (Process 1a) and preliminary concept sketch (Process 1b). Process 1b specifies Autodesk REVIT (Revit) as the software of choice but since the sketch is only for discussion purposes, any suitable software can be used. This information is shared with the engineer (Process 1c) who then defines the preliminary parametric model by using Grasshopper 3D and performs form-finding in Kangaroo (Process 1d). Process 1 concludes with an agreed upon structural shape in Rhinoceros 3D (Rhino) and Revit (Process 1h) which relies on the collaborative effort from both the structural engineer and the architect (Process 1e-g). Due to the *Rhino.Inside.Revit* plug in, the Rhino geometric shape is then immediately available in Revit (Process 1h).

The BIM process serves as the starting point for the construction model which is finalised in the third process. The process involves the development of the Revit model by the architect (Process 2a) including defining the non-geometrical information and increasing the level of detail where required (Process 2b). This is based on information provided by the structural engineer and the project requirements. The result of Process 2 is a preliminary BIM model in Revit (Process 2c).

Finally, the third process is Structural Analysis whose purpose is to evaluate the construction viability of the geometry defined in Process 1 with the proposed phased construction system. The process makes use of the Revit model from Process 1h and the custom interoperable tool using C# and Python (Process 3a) to transmit the geometry for the structural analysis (Process 3b). If only minor changes are required

to the model, they are communicated to the architect (Process 3d) who produces the final BIM model to be used for construction (Process 3e) based on Process 2c. The framework is flexible and adaptable hence the engineer is also free to amend the model if required such as changing support conditions including adding temporary supports or other loads during Process 3b. However, major changes to the geometry, would necessitate a return to Process 1.

4. Parametric modelling and computational design procedure

The form-finding and construction sequencing procedures of Process 1 were carried out through the Visual Programming Language (VPL) Grasshopper 3D that is executed within the Rhinoceros 3D version 7 Computer-Aided Design (CAD) software.

Since the form-finding is achieved by the application of forces to a network of points connected by springs, the first stage consists in the definition of a network with 1m length subdivisions in each direction. The sizes of the divisions of the network are chosen to keep the resulting panels the same size as much as possible and in consideration of the space for the post tensioned cables. However, the panel edges change to 1m ± 200mm after the form-finding is carried out.

The network of points which are then used to form the lines which are in turn used to define the surface. Depending on the desired shape, some of points on the boundary of the mesh were selected to be the support points. These are the points that will remain in the same position when the form-finding is carried out. The points inside the boundary of the mesh connecting the lines of the mesh were assigned a vertical upward force to move the points, find equilibrium and generate a shape. Additionally, all the lines between the points of the mesh were assigned a spring stiffness that provides resistance to movement when the vertical force is applied.

Subsequently, the mesh, forces and springs, supports and number of iterations were used as inputs to the Physics SOLVER "ZombieKangaroo" to perform the form-finding. A fixed number of iterations was selected for the solver to establish equilibrium based on the input parameters. When the solver is run, the output is a 3-dimensional funicular-shaped mesh. Varying the starting points, support locations, spring stiffness and vertical force results in an infinite number of arbitrary shapes.

The next step was the creation of individual solid panels by thickening and tessellating the mesh output to obtain the 3D structure segmented into panels. The last step was the assignment of a numbering system to each panel and corresponding cables using a cellular automata algorithm based on the selected construction sequence.

5. Case study

A case study is carried out to assess the proposed framework and the theory. The idea is to use the framework to create a compression-only structural shape from form-finding and assess the structural viability of the proposed construction system, as mentioned before. An outdoor shading space at Parque da Cidade, in Guimarães, Portugal is proposed. The shell structure is expected to experience wind and snow loading.

Parametric modelling and computational design are conducted as part of Process 1. The starting surface (Figure 4b) is made up of two long parallel curves joined to two short parallel curves as shown in Figure 4a. Support positions are chosen to be along the two short curves (Figure 4c), then the surface is divided into springs and nodes where the force is applied (Figure 4d) to produce a freeform surface (Figure 4e). For the case study, a network of 14x10 cells is chosen so that the resulting panels from form-finding are approximately of size 1m by 1m. The form-finding and tessellation process results in the mesh and solid panels with a thickening of 300mm (Figure 4f).

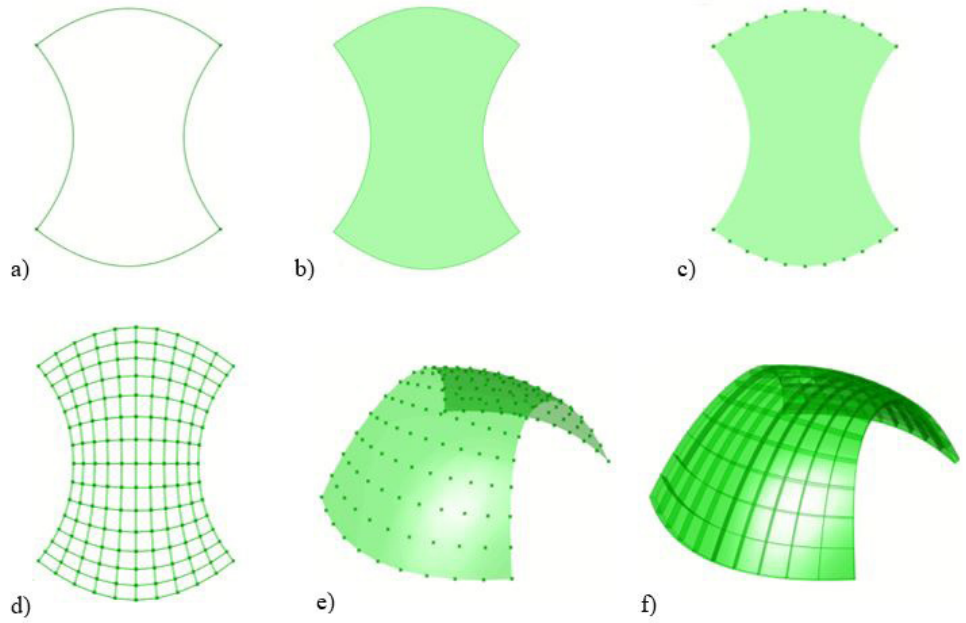


Figure 4
Parametric modelling sequence and results in Rhinoceros 3D.

After the connection to Autodesk REVIT (Revit), a custom interoperability tool is used such that the geometry is automatically transferred from Revit to DIANA FEA using a Python script, negating the need to re-define it. The panels are assigned the concrete material properties while the post tensioning (PT) cables are assigned the steel material properties shown in Table 1.

Table 1
Material properties.

Material	Young's Modulus (GPa)	Poisson's ratio	Mass density (kg/m^3)	f_{yk} (MPa)	f_{ck} (MPa)	f_{ctd} (MPa)	Partial safety factor (γ)
Concrete	30	0.2	2500	-	30	1.35	1.5
Steel	200	0.3	7700	450	-	-	1.15

The PT cables have an anchor force of 40kN applied, with zero wobble factor and zero Coulomb friction coefficient. It is assumed that prestress losses are low and have been taken into account in the 40kN. For the sake of simplification, the only load accounted for during construction is the self-weight. The wind and snow loads are checked after construction once the temporary supports have been removed (stages 142 and 143 respectively) as shown in Figure 5.

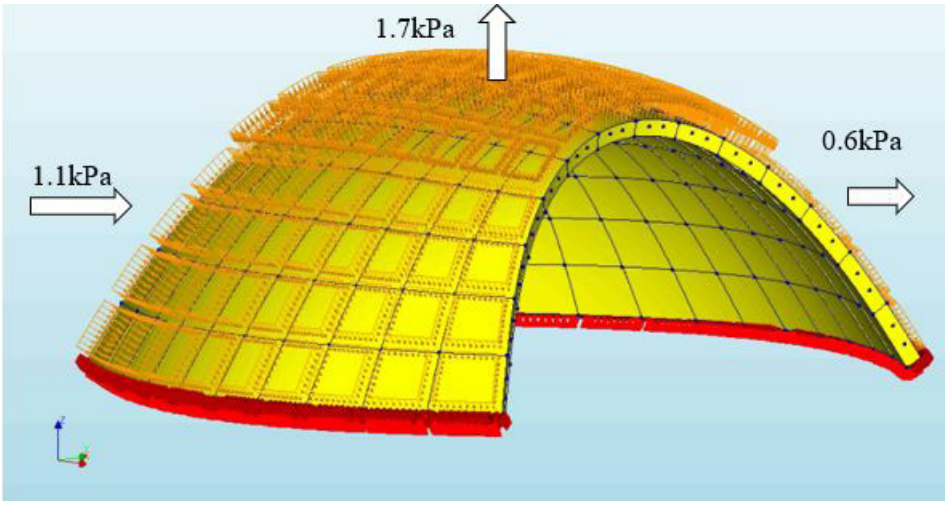


Figure 5
Permanent supports and wind loading conditions in DIANA FEA.

In the FEA conducted, the structural materials are assumed to be linearly elastic, and a staged construction analysis is performed. Equilibrium should be maintained throughout the construction stages. A simplified model is used rather than having anchor plates for the prestressing cables or interface elements to observe the stresses between the panels. However, there should be no tensile stresses at the interfaces to guarantee construction stability. With more sophisticated models (e.g., with interface elements added), tension could be acceptable if less than the design tensile strength and the equilibrium is maintained. Consequently, the results were focussed on the tensile stresses and whether the stresses would lead to concrete cracking and secondly whether the interface stresses would cause instability and loss of equilibrium during construction.

Generally, the tensile forces at the interface increase with the subsequent construction stage. Multiplying the tension stresses and their percentage of area on the interface results in the tensile force at the given interface for that construction stage. The highest tensile force is 58 kN which is less than the force provided by the PT cables (2×40 kN = 80kN) at each interface. Therefore, the PT cables provide a counter force

that is more than the tension at the interface and so no loss of equilibrium would be expected during construction. Additionally, the tensile stresses (Figure 6) are less than the design tensile strength of concrete (refer to Table 1).

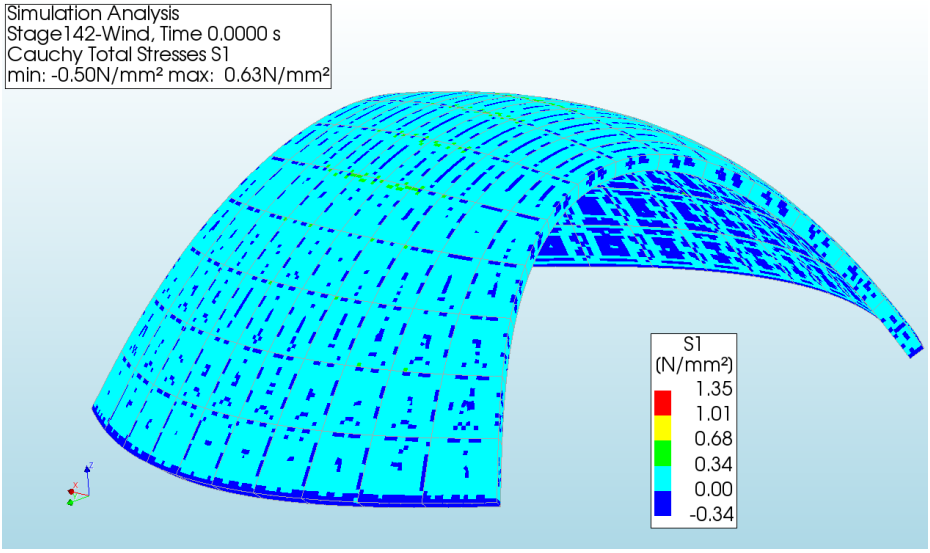


Figure 6
Results in DIANA FEA for S1 Principal stresses at Construction Stage 142.

6. Conclusions

A BIM framework based on parametric modelling and computational design to achieve interoperability and collaboration between engineers and architects was presented. The framework works for varying shapes and sizes and therefore can be used for a variety of structures and applications. For further work, more disciplines could be included in the framework such as the MEP engineers and contractor. In addition, a more in depth look at the BIM modelling in Process 2 can be investigated including preparation of the documents for construction and how these would be linked to a factory for modular construction.

Additionally, it would be prudent to include earthquake loading as well as more load combinations to evaluate robustness of the structural shapes produced. Although the resulting stresses at the interfaces were relatively low, there were not expected at all due to the addition of the prestress. For this reason, further investigation into the connection or interface between panels would be required to ensure stability. Moreover, it would also be worth investigating if increasing the number of cables in each direction may reduce the tension at the interface. Furthermore, there is the need for technological developments to make the proposed system really viable especially related to the challenges in terms of the moulds and cable positioning in the prefabrication plant.

Acknowledgments

The first author acknowledges the Erasmus Mundus Joint Master's Degree Scholarship from the European Union for the BIM A+ European Masters Course 2020/2021, during which the work was conducted. This work was partly financed by FCT / MCTES through national funds (PIDDAC) under the R&D Unit Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), under reference UIDB / 04029/2020 and the R&D Unit Landscapes, Heritage and Territory Laboratory (Lab2PT), under reference UIDB / 04509/2020.

References

[1] M. J. Ribeirinho *et al.*, "The next normal in construction", *McKinsey & Company*, no. June. 2020.

[2] P. Belton, "Building's hard problem – making concrete green", *BBC Technology of Business*, 2021. https://www.bbc.com/news/business-56716859 (accessed Aug. 09, 2021).

[3] S. Webb, "Structural issues: the cost of material and the value of labour", *Architectural Review*, 2021. https://www.architectural-review.com/essays/structural--issues-the-cost-of-material-and-the-value-of-labour (accessed Aug. 09, 2021).

[4] F. Barbosa *et al.*, "Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity", 2017. [Online]. Available: http://www.mckinsey.com/industries/capital--projects-and-infrastructure/our-insights/reinventing-construction-through--a-productivity-revolution.

[5] M. G. Alexander and G. Nganga, "Reinforced concrete durability: some recent developments in performance-based approaches", *J. Sustain. Cem. Mater.*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, 2014, doi: 10.1080/21650373.2013.876372.

[6] S. Adriaenssens, P. Block, D. Veenendaal, and C. Williams, *Shell Structures for Architecture: Form Finding and Optimization*, vol. 9781315849. 2014.

[7] A. Zingoni and N. Enoma, "Dual-purpose concrete domes: A strategy for the revival of thin concrete shell roofs", *Structures*, vol. 28, no. November, pp. 2686--2703, 2020.

[8] K. Nassar and E. A. Aly, "Automated planning and design of formwork for free-form shell structures", in *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World, Proceedings of the 2012 Construction Research Congress*, 2012, no. May, pp. 1165-1174, doi: 10.1061/9780784412329.117.

[9] A. Tomás and P. Martí, "Shape and size optimisation of concrete shells", *Eng. Struct.*, vol. 32, no. 6, pp. 1650–1658, 2010, doi: 10.1016/j.engstruct.2010.02.013.

[10] O. Kontovourkis, M. C. Phocas, and C. Katsambas, "Digital to physical development of a reconfigurable modular formwork for concrete casting and assembling of a shell structure", *Autom. Constr.*, vol. 106, no. July, p. 23, 2019.

[11] C. Borg Costanzi, Z. Y. Ahmed, H. R. Schipper, F. P. Bos, U. Knaack, and R. J. M. Wolfs, "3D Printing Concrete on temporary surfaces: The design and fabrication of a concrete shell structure", *Autom. Constr.*, vol. 94, no. August 2017, pp. 395--404, 2018.

[12] M. Popescu *et al.*, "Structural design, digital fabrication and construction of the cable-net and knitted formwork of the KnitCandela concrete shell", *Structures*, vol. 31, no. January 2020, pp. 1287-1299, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2020.02.013.

[13] M. Azenha, "Horizon 2020 Excellent Science ERC Consolidator Grant Proposal". Braga, pp. 1 – 52, 2019.

[14] A. Hadilou, "Flexible formwork: a methodology for casting funicular structures", *Digital Crafting [7th International Conference Proceedings of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2014)]*. 2014.

A integração do BIM na reabilitação de «agregados» em alvenaria

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.33

Maria Laura Leonardi[1], **Daniel V. Oliveira**[2], **Miguel Azenha**[3]

[1] *Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-3659-3955*

[2] *Universidade do Minho, Guimarães, ID OCCID 0000-0002-8547-3805*

[3] *Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

Uma grande parte dos edifícios antigos em alvenaria não reforçada compõem-se em "grupos" de edifícios ligados estruturalmente entre si, sendo por isso também conhecidos como agregados. Estes sistemas complexos são particularmente vulneráveis a eventos sísmicos. A implementação de um modelo estrutural visando a sua reabilitação exige a cooperação de intervenientes com diferentes competências, bem como a modelação conjunta de vários edifícios. Para ultrapassar a limitação das metodologias convencionais, o artigo propõe um processo de trabalho baseado na integração de metodologias BIM aplicadas a construções antigas/históricas (HBIM) e de um modelo estrutural discreto de macro-elementos. Além do processo de interoperabilidade mencionado, são necessários esforços para alinhar o HBIM com os mais recentes esforços normativos, que normalmente se centram em processos relativos a construção nova. A abordagem aqui proposta trata inicialmente da criação e entrega de informação, efetuando definições ao nível de "*Product Data Template*" (PDT) e "*Level of Information Need*". Subsequentemente, é implementado um algoritmo para possibilitar a interoperabilidade de software com o objetivo de realizar análises estruturais. Os resultados são alcançados em termos de curvas força-deslocamento globais e danos. A metodologia proposta é aplicada a um caso de estudo em Ortigia, Itália.

1. Introdução

Os agregados em alvenaria são construções históricas constituídas por sucessivas "unidades habitacionais" que formam um complexo estrutural único, e representam uma grande parte do património cultural das cidades do sul da Europa. Os recentes acontecimentos sísmicos ocorridos na zona central de Itália mostraram a necessidade de intervir na reabilitação destas construções, mas também a complexidade envolvida na compreensão do seu comportamento estrutural. As deficientes ligações entre os elementos construtivos e o mau estado de conservação destas estruturas são a causa maior da sua vulnerabilidade. Para superar os elevados custos computacionais da modelação numérica e a necessidade de recolher uma enorme quantidade de dados de diferentes tipos, foram propostos vários métodos empíricos à escala territorial para uma rápida avaliação da sua segurança [1]. Estas abordagens não são comparáveis com os métodos numéricos mais precisos, cuja implementação requer a colaboração de vários atores distintos. Assim, a melhoria da capacidade de colaboração das diferentes partes envolvidas é um passo fundamental para melhorar a avaliação da resposta sísmica de agregados em alvenaria [1]. Por esta razão, uma abordagem baseada no BIM pode ser muito útil para esta implementação.

Os processos HBIM foram aplicados principalmente a monumentos até à data, tendo sido dados passos significativos na implementação de métodos automáticos ou semi-automáticos para modelar os seus componentes geometricamente complexos [2,3]. Em alguns desses casos, foi adicionalmente investigada a interoperabilidade entre *software* de modelação e software de cálculo estrutural para análises de segurança [3]. Podem ser criados modelos de alta precisão com esta abordagem, mas a gestão de dados requer o alinhamento com os últimos requisitos de normalização BIM, em termos de criação e entrega de informação. Com efeito, o uso de metodologias BIM não se cinge à mera análise estrutural, e a mesma estará normalmente integrada num processo de colaboração mais abrangente que envolve a necessidade de definição de protocolos claros para troca de informação. Nesse contexto, a definição e utilização de "*Product Data Templates*" (PDT) torna-se uma importante componente para a melhor padronização de trocas de informação [4]. Apesar do conceito de PDT já ter sido proposto há vários anos, a sua aplicação à escala nacional ainda está a dar os primeiros passos. Mas mesmo a nível internacional, há ainda poucos exemplos de países que tenham bibliotecas de PDT's disponíveis para processos colaborativos BIM. No contexto das construções históricas, existe ainda muito pouco trabalho divulgado ao nível de PDTs [5], sendo esta uma área de investigação que claramente necessita de mais desenvolvimentos. Adicionalmente, é também relevante ter em conta o "*Level of Information Need*", que define a informação que deverá ser trocada num determinado contexto de entrega, e que em parte da sua definição corresponde à definição de subconjuntos dum PDT que são relevantes para a entrega.

O presente trabalho, resultante de uma dissertação de Mestrado [6], propõe uma estrutura integrada baseada em HBIM para a reabilitação de agregados históricos de alvenaria. A repetibilidade das características definidoras desta tipologia permite a implementação de um conjunto de classes de objetos que são úteis para uma

tipologia ampla de construção. Nesse sentido, os parâmetros necessários para as análises estruturais são recolhidos num protótipo de PDT para contribuir para o processo de normalização. Assim sendo, é definido um subconjunto de informação relevante do modelo BIM para transposição para o *software* de análise estrutural por elementos discretos, utilizando um *script* preparado para o efeito, que recolhe os dados conforme necessário. Alguns dos resultados das análises são registados diretamente no modelo BIM de que emanou a informação para o cálculo, num processo de interoperabilidade bidirecional. Posteriormente, é feita uma aplicação do método proposto a uma unidade de um agregado em Ortigia, Siracusa (Itália).

2. Metodologia

A assunção de parâmetros mecânicos e de comportamento estrutural dos edifícios existentes requer uma etapa preliminar de levantamentos indiretos e diretos da construção. Durante esta fase, estão envolvidos vários intervenientes na recolha e interpretação de vários dados. A partir da interpretação desta informação, durante a fase de análise estrutural, é possível definir os parâmetros mecânicos e os pressupostos de modelação mais apropriados, para modelar eficientemente as estruturas. O primeiro âmbito da metodologia proposta é fornecer um sistema de organização eficiente dos dados recolhidos, evitando a perda ou repetição dos mesmos. Para este fim, propõe-se um subconjunto de dados para um PDT poder recolher todos os parâmetros preliminares e relacionados com os pressupostos de análise estrutural. O preenchimento dos PDTs com a informação relacionada com o objeto permite obter as *Product Data Sheets* (PDS). Os dados recolhidos são filtrados com base no *Level Of Information Need* para o fim específico, que é a definição de um modelo discreto de macro-elementos. De acordo com a finalidade do modelo, as paredes são modeladas como entidades volumétricas, com espessura igual à secção transversal estrutural do elemento. As janelas e portas constituem obviamente aberturas. Os pavimentos e os telhados são simplificados, sendo modelados através de lajes ortotrópicas correspondentes.

A metodologia proposta, representada na Figura 1, é definida de tal forma que o modelo de cálculo estrutural seja obtido de forma automática a partir do modelo BIM, que por sua vez foi criado com custo relativamente baixo, dadas as vantagens inerentes à modelação paramétrica orientada por objetos. O custo controlado da modelação proporcionado pela metodologia BIM, aliado à capacidade computacional crescente, permitem almejar o cálculo estrutural destes agregados complexos e conhecer melhor o seu comportamento, portanto permitindo abordagens de grande racionalidade, segurança e sustentabilidade. Os dados do modelo BIM realizado em REVIT são exportados através de um *script* Dynamo como um *Open Text File*, que acomoda a informação necessária para realizar as análises estruturais. Este ficheiro é por sua vez analisado diretamente pelo *software* de cálculo estrutural 3DMacro. Finalmente, os ficheiros 3DMacro resultantes do cálculo podem ser lidos pelo *script* Dynamo e representar dados relevantes do cálculo sobre o modelo BIM.

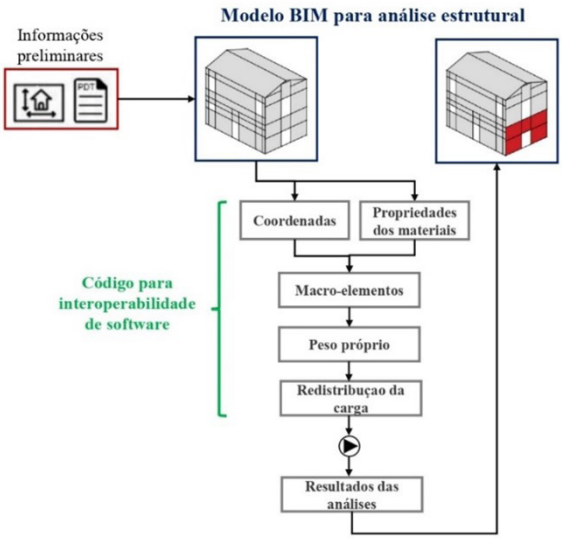


Figura 1
Metodologia proposta.

2.1. Componente e PDT para paredes de alvenaria

Os protótipos PDT que são propostos seguem o esquema NBS [7] organizando os parâmetros em grupos. Para esta contribuição, são introduzidos grupos de parâmetros para as paredes de alvenaria não reforçada e para os pavimentos de madeira, que são os principais elementos estruturais da tipologia avaliada.

Para os objetos de paredes de alvenaria, os seis conjuntos de parâmetros definidos referem-se precisamente ao modelo de análise estrutural. A decisão de introduzir estes parâmetros específicos, bem como a sua organização, é apoiada pelo código de referência utilizado para a avaliação estrutural, que é o Código de Construção Italiano [8]. Em particular, "MechanicalProperties", "CorrectiveCoefficients" e "StrenghteningInterventionCoefficients" referem-se ao material alvenaria. De outra forma, os três últimos grupos estão relacionados com a hipótese de modelação discreta baseada em macro-elementos e referem-se aos três tipos de rotura no plano associada aos macro-elementos. O comportamento de flexão do painel é descrito pelo "FlexuralBehavior" (elastoplástico); a rotura de corte é descrita pelo "ShearMohrCoulomb ou "ShearTurnsekAndCacovic".

Tabela 1
Exemplo de protótipo PDT, parâmetros para análise estrutural de paredes de alvenaria.

	Valor	Unidade	Nota
	MechanicalParameters (NTC2018)		
CompressiveStrength	–	MPa	
TensileStrength	–	MPa	
ShearStrength	–	MPa	
SpecificWeigth	–	kN/m^3	
ElasticModulus	–	MPa	
ShearModulus	–	MPa	
	FlexuralBehavior		
FlexuralLimitRotation		(*number*)	
CompressiveDuctility		(*number*)	
TensileDuctility		(*number*)	
UnloadingConditionCompression		*(text)*	
UnloadingConditionTension		*(text)*	
FlexuralLimitRotation		(*number*)	
	ShearTurnsekAndCacovic		
ShearLimitDeformation		(*text*)	
UnloadingCondictionShear		(*number*)	
B		(*number*)	
D		*(number)*	
Beta		*(number)*	
Gamma		(*number*)	
ShearMohrColoumb			
FrictionAngle		(*number*)	
Cohesion		(*number*)	

3. Algoritmo implementado

A interoperabilidade foi desenvolvida entre o *software* BIM Revit e o *software* de análise estrutural 3DMacro (ver Figura 1). O algoritmo é implementado em Dynamo. A informação é extraída numa ordem específica, devido à concatenação dos dados, e seguindo uma sintaxe precisa.

3.1. Coordenadas, materiais e painéis

Os primeiros dados a obter do modelo dizem respeito à geometria da estrutura, nomeadamente os vértices dos painéis sobre os quais é discretizado. A disposição, forma e tamanho dos macro-elementos dependem da geometria da parede e da disposição das aberturas eventualmente existentes. Os macro-elementos verticais são normalmente de quatro lados, excepto no caso de geometrias mais complexas. Por exemplo, os topos das paredes de empena, são modelados como triângulos (ver Figura 2). Com base nestes pressupostos, para fornecer os vértices dos elementos verticais de quatro lados, as entradas de código são todas as janelas, portas, e famílias similares presentes no modelo.

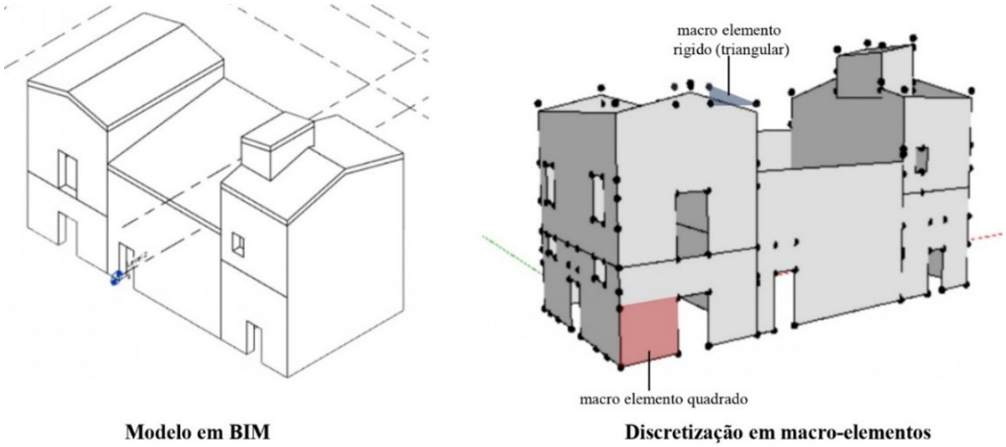


Figura 2
Discretização em macro-elementos.

O caso da janela é bastante representativo, e gera 8 painéis para 16 vértices. Neste caso, o algoritmo definido tem como entrada todos os objetos da "janela" e as suas paredes limítrofes. A título exemplificativo, ilustra-se o algoritmo correspondente na Figura 2. Inicialmente, obtém-se a localização da janela, com base no ponto médio da sua base. Localizado este ponto, envolvendo como entrada os parâmetros "altura" e "largura" das janelas, é definido um ciclo para calcular os quatro vértices de todos os elementos da janela. A partir da saída do ciclo, o código seleciona os vértices-base das janelas, e translada-os para baixo, de uma distância igual à "altura da soleira" da janela. Os dois pontos transladados acabam por ser novamente transladados para cima. Estas duas translações são necessárias para definir os painéis acima e abaixo da janela. A definição dos vértices dos painéis que estão localizados nos lados das janelas é feita selecionando as paredes. Assim, a partir da superfície externa das paredes, o código extrapola a curva de perímetro, os pontos de base, e translada-os verticalmente, de uma distância igual à "altura da soleira" da janela e a "altura" da janela. São implementados algoritmos semelhantes para o caso das portas.

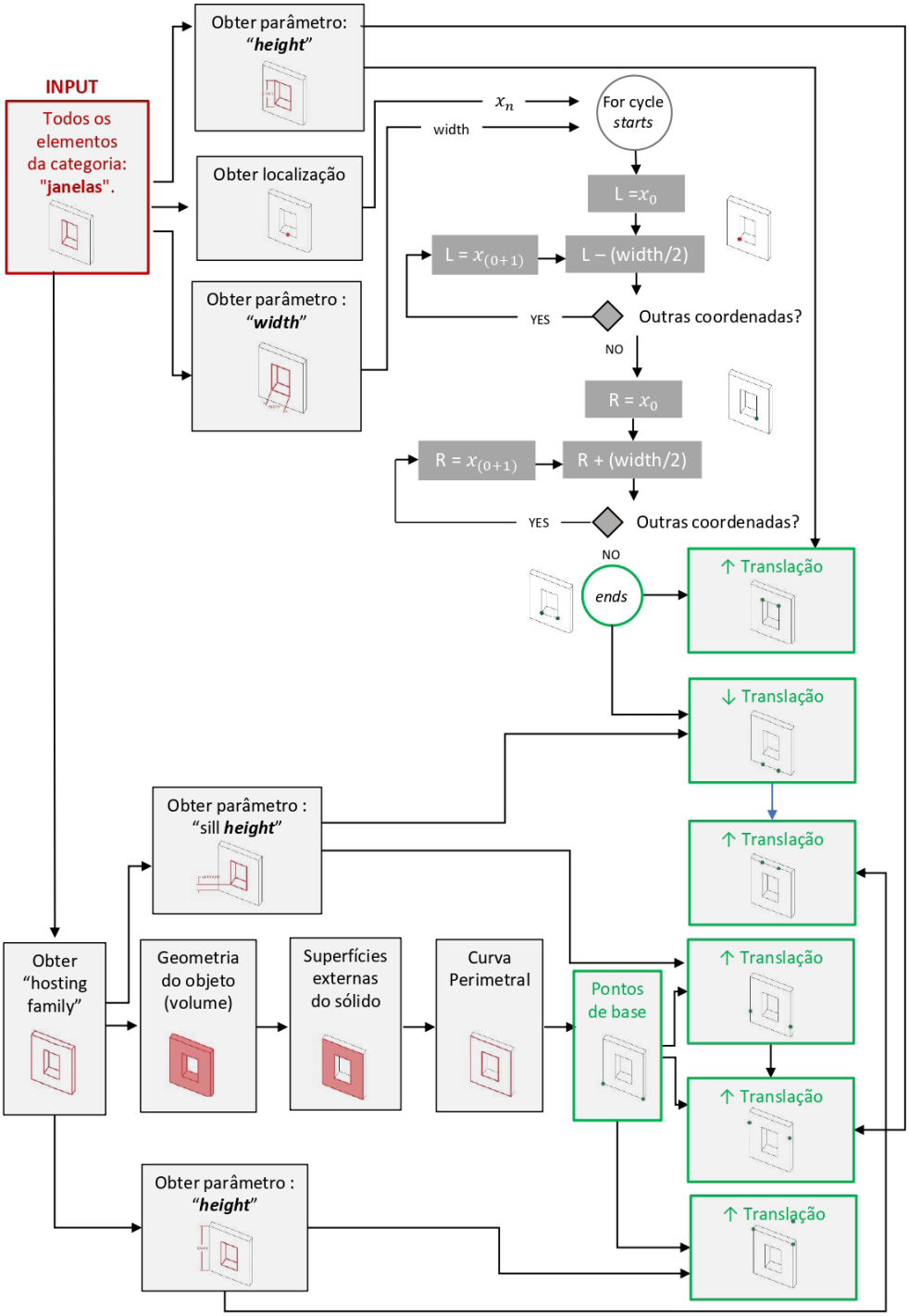


Figura 3
Algoritmo para as janelas.

Por fim, para discretizar corretamente as paredes, é necessário incluir a possibilidade de terem mais que uma abertura. Para o efeito, e de acordo com o indicado na Figura 4, são extraídos os pontos de interseção entre macro-elementos derivados de diferentes aberturas. Isto é conseguido através da seleção como entrada de todos os pontos obtidos do algoritmo. Estes são depois agrupados de acordo com a parede a que pertencem. Cada uma destas listas é estruturada em sub-listas contendo todos os pontos com a sua coordenada Z global igual à elevação de nível, sendo traçada

uma linha passando por eles. Esta linha é traduzida no sentido Z global de uma distância igual à coordenada Z de todos os pontos da sub-lista. Depois, a partir do ponto contido na sub-lista anterior, é criada uma nova lista excluindo os que se encontram na borda. Isto é feito ordenando o ponto com base na coordenada local X e excluindo o primeiro e o último item da lista. Os pontos desta sub-lista são utilizados como base para traçar as linhas verticais, que são desenhadas para intersetar o conjunto de linhas horizontais e obter os pontos necessários. Finalmente, todos os pontos são reunidos numa lista e associados a uma identificação.

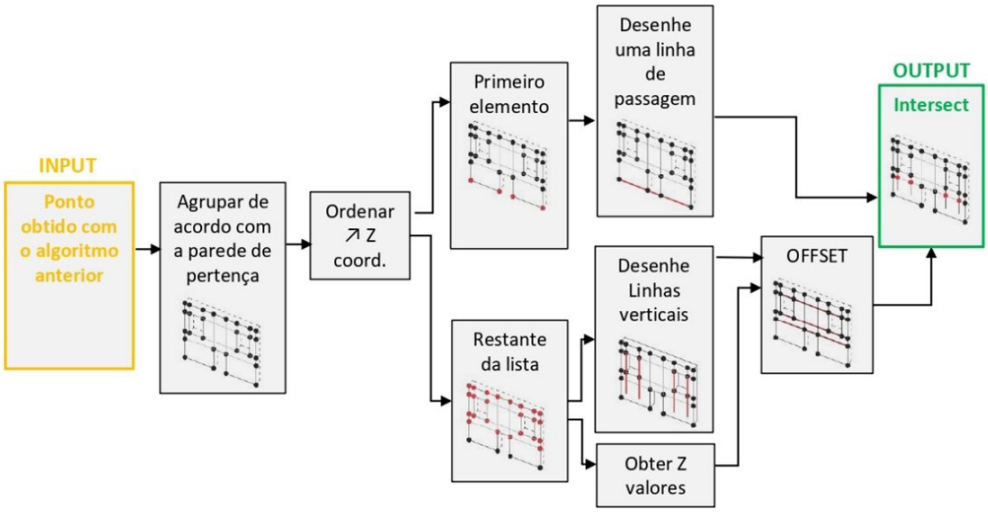


Figura 4
Algoritmo para obter pontos adicionais.

A informação sobre os materiais é obtida a partir dos parâmetros associados com os objetos modelados. Precisamente, os parâmetros que estão relacionados com uma lei constitutiva específica são extraídos numa cadeia e nomeados com um ID. Após a obtenção das coordenadas e dos materiais, é possível introduzir os painéis. Cada painel de macro-elementos é definido pelas IDs das coordenadas dos vértices (organizadas no sentido horário), e as IDs das suas leis constitutivas materiais. Para os painéis horizontais, o algoritmo reúne todos os pontos ao nível dos pisos/telhado e organiza-os também no sentido dos ponteiros do relógio. Neste, deve ser indicado o número do grau de liberdade.

3.2. Ações e análise estutural

O objetivo desta aplicação consiste na realização de análises estáticas não lineares (análise PushOver). Assim, e seguindo o algoritmo ilustrado na Figura 5, inicialmente é calculado o peso próprio da estrutura. No que diz respeito às cargas verticais, o peso próprio é aplicado ao próprio painel. Isto é obtido através da avaliação da geometria do painel a partir do plano médio do painel previamente extrapolado e multiplicado pela espessura da parede e o peso específico do material associado. O peso próprio dos elementos horizontais é distribuído proporcionalmente à banda de painéis verticais abaixo, dependendo da orientação estrutural do pavimento.

A carga a aplicar é avaliada multiplicando o comprimento do painel interessado, para metade do vão do pavimento, a sua espessura, e o seu peso específico.

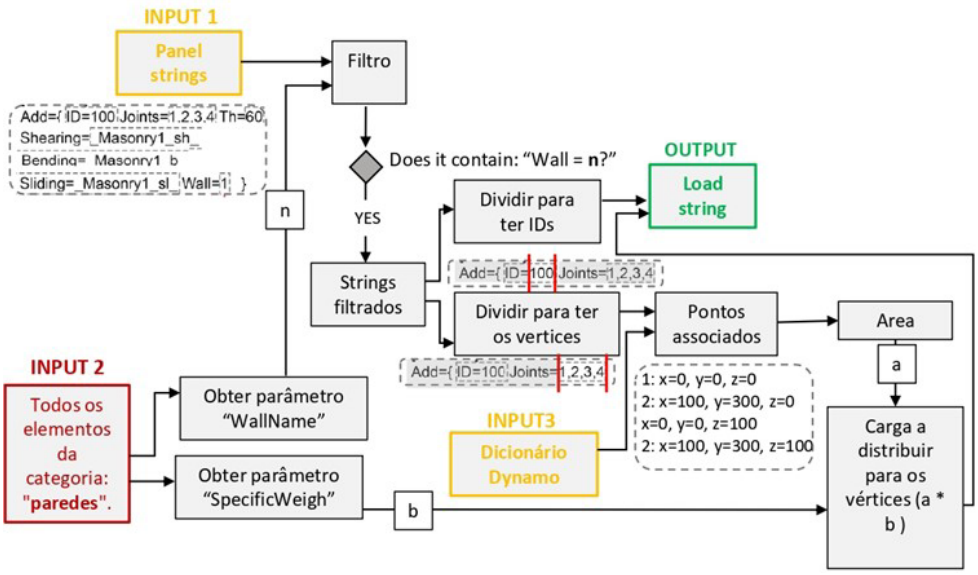


Figura 5
Algoritmo para redistribuir as cargas do pavimento.

O algoritmo implementado permite realizar as análises sem abrir a interface do *software* de análise estrutural. Para proporcionar uma visualização de fácil utilização dos resultados, o comportamento esperado no plano é registado no modelo BIM. Para o efeito, o vértice associado à discretização da malha previamente obtida é utilizado para introduzir no modelo elementos suplementares. Assim, são introduzidas quatro perspetivas 3D diferentes para ilustrar os danos associados aos quatro sentidos de análise pushover.

4. Aplicação ao caso de estudo

4.1. Apresentação do caso de estudo

A metodologia de trabalho proposta foi aplicada a uma unidade de um agregado representativo no centro histórico de Ortigia, em Itália, representado na Figura 6 (unidade residencial que faz parte de um agregado real). A planta da unidade é rectangular, com uma dimensão de 8 m de comprimento e 5 m de largura. A estrutura é composta por paredes portantes, com uma espessura variável de 45 a 75 cm. A estrutura dos pisos é caracterizada pela presença de vigas de madeira de dimensão moderada, com uma secção transversal de cerca de 12x15 cm, acima da qual existem um soalho de madeira de cerca de 2.5 cm de espessura. A distância média entre as vigas é de 60 cm, cobrindo um vão de aproximadamente 5 m. O telhado apresenta duas águas com a viga principal de madeira, e vigas na direção perpendicular. O estado de conservação do edifício sugere uma baixa capacidade mecânica da alvenaria [9].

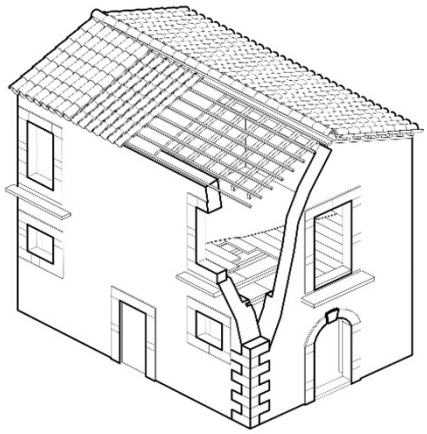


Figura 6
Axonometria do estudo de caso.

4.2. Modelação e resultados

As características mecânicas das paredes de alvenaria foram definidas após consulta do Código de Construção Italiano [8], e os parâmetros são os que descrevem a alvenaria do tipo "Alvenaria irregular de pedra macia (tufo, calcarenite, etc.)". O comportamento em flexão é assumido como elastoplástico, sendo o comportamento em corte descrito pelo critério de Turnsek e Cacovic. Os pavimentos e telhados são modelados como lajes ortotrópicas equivalentes, cujo comportamento em flexão é descrito por rigidezes diferentes nas duas direções. Os valores do Módulo de Young (E) do material e do seu peso específico são retirados da tabela de referência da norma EN 338 [10].

Os resultados numéricos obtidos são expressos pelas curvas de *pushover* associadas aos quatro sentidos das análises e avaliadas em três pontos diferentes, onde se espera os maiores deslocamentos. Os resultados das análises nos quatro sentidos foram registados com sucesso no modelo BIM, conforme demonstrado na Figura 7.

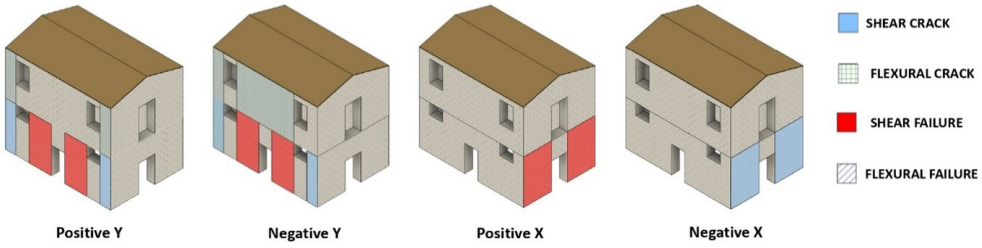


Figura 7
Indicação de resultados no modelo BIM.

5. Conclusões

Os edifícios do património cultural colocam requisitos específicos para a realização de análises estruturais. Neste âmbito, a utilização do HBIM na avaliação de agregados de alvenaria pode ser pertinente para promover e melhorar a cooperação entre as diferentes partes interessadas envolvidas no processo de conservação.

Torna-se relevante concentrar esforços na definição de algoritmos para estabelecer a interoperabilidade entre o BIM e o *software* de análise estrutural. O fluxo de trabalho proposto neste trabalho permite exportar a informação de modelação do modelo BIM para o *software* numérico. Os resultados alcançados não são exaustivos de um ponto de vista estrutural, mas representam os primeiros passos de uma contribuição que se pretende aprofundar.

6. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade de I&D Instituto de Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob referência UIDB / 04029/2020.

Referências

[1] F, Romis, S. Caprili, W. Salvatore, T. Ferreira, and P. Lourenço, "Seismic vulnerability assessment of historical urban centres: the case study of Campi Alto Di Norcia, Italy", *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,* vol. 44 pp. 885-892. doi: https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-1-2020-885-2020, 2020.

[2] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, "Historic Building Information Modelling: Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 76, pp. 1-6, January 2013. doi: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.

[3] G. Rocha, L. Mateus, J. Fernandez, and V. Ferreira, "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings", *Heritage*, vol. 3 pp. 47-67, February 2020. doi: https://doi.org/10.3390/heritage3010004

[4] ISO 22386, "ISO ISO 23386:2020 Building information modelling and other digital processes used in construction: Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries", International Organization for Standardization (ISO),2020. Retrieved March 15, 2021.

[5] A. Barontini, C. Alarcon, H. S. Sousa, D. V. Oliveira, M. G. Masciotta and A. Miguel, "Development and Demonstration of an HBIM Framework for the Preventive Conservation of Cultural Heritage", *International Journal of Architectural Heritage*, vol 15, February 2021, doi:https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1894502

[6] M Leonardi, "Integrating BIM technology in the vulnerability assessment of historic masonry aggregates", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2021.

[7] Lee, J., 2019. *Product Data Templates for Manufacturers – Technical Support – NBS BIM Toolkit*. [online] Toolkit.thenbs.com. Available at: <https://toolkit.thenbs.com/articles/pdts> [Accessed 24 December 2021].

[8] NTC 2018, "Norme tecniche per le costruzioni", Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, 2018.

[9] A. Giuffrè, A., *Sicurezza e conservazione dei centri storici: il caso Ortigia*. Roma: Laterza Editore, 1993.

[10] CEN – EN 1995, "Structural timber: strength classes", European Committee for standardization, 1995.

Proposta de normativo para aplicação e verificação do BIM no desenvolvimento de projetos-tipo de obras de pontes e viadutos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.34

Paulo Alberto S. Santos[1],
Filipe C. Ciríaco[1], **Ramon Saleno Y. R. C. Silva**[1]

[1] *Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília*

Resumo

O BIM vem sendo um termo popular no Brasil, desde a criação da Estratégia BIM BR em abril de 2020, principalmente em contratações públicas. Entretando, mesmo a metodologia sendo um grande potencial para o Brasil, seu uso em obras de infraestrutura é um atual desafio. Pela grande demanda e alto nível de investimento, o BIM ainda é um gargalo para discussões, principalmente no âmbito governamental. Nestas circunstâncias, há uma lacuna na existência de normativos específicos para definição do nível detalhamento e informações que abrangem projetos BIM. Este artigo traz especificações para elaboração de projetos BIM em pontes e viadutos, propõe nova caracterização de nível de detalhamento (LOD) adequadas às etapas de contratações públicas frente a leis brasileiras e, sugere um *checklist* para verificação das entregas dos ativos. O trabalho utilizou-se da metodologia de pesquisa *Design Science Research* (DSR), onde realizou-se um apanhado de publicações normativas, trabalhos acadêmicos e propostas técnicas internacionais. As revisões literárias foram aplicadas em procedimentos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e VALEC S/A para validação de cada método em todas as fases de projeto, adaptando-os para o cenário nacional. Durante a transposição das informações dos projetos escolhidos como estudo de caso, foram encontradas dificuldades esperadas devido à transposição de informações nos projetos. Todavia, a etapa de validação prática permitiu adequar as propostas abordadas e chegou-se em uma linguagem única para a minuta de um normativo.

1. Introdução

Na implantação da metodologia, as etapas de planejamento, realização e manutenção de obras são facilitadas pela rápida troca de informações entre as partes interessadas. A metodologia BIM fornece um ambiente com informações mais claras e acessiveis, visando à plena execução dos objetos contratuais e possibilitando fácil revisão que eventualmente necessitam ser executadas durante os serviços [1].

Nestes termos, as contratações de projetos em BIM no Brasil e no mundo, necessitam de uma padronização dos modelos de informações, procurando diminuir o tempo de esforço gasto para tomada de decisões, análises de simulações e, principalmente, diminuindo custos.

Este trabalho foi conduzido pelo roteiro de pesquisa *Design Science Research* (DSR), estrutura lógica para resolução de problemas que procurem, em cada etapa, pontos problemáticos a serem explicitados, como em um ciclo regulador. Dessa forma, realizou-se um apanhado de publicações normativas nacionais e internacionais, buscando adequar os procedimentos tradicionais adotados em âmbito nacional. Identificou-se os problemas para cada fase de projeto contratado e sequencialmente, implementou-se uma solução, adequada das revisões normativa vigentes, com o intuito de contextualizar e validar a proposta do BIM para os meios de contratação brasileiros. O produto utilizou-se ainda de um estudo de caso, aplicando a modelagem de um viaduto ferroviário tendo como fonte o Projeto Executivo da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), contratação da VALEC S/A, empresa pública controlada pelo Ministério da Infraestrutura do Brasil.

2. Revisão e adequação técnica e normativa

O Brasil ainda não apresenta muitos normativos para o uso do BIM, para que possa ser efetuado um estudo aprofundado sobre a temática sobre o tema abordado neste trabalho. Até a conclusão deste artigo, foram consideradas as ublicações da Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção (ABNT/CEE-134).

Diante do exposto torna-se necessário um levantamento com as diversas normas vigentes e instruções de projeto para que possa ser efetuado um estudo aprofundado sobre a temática.

Nas próximas seções será apresentada descrição resumida destes normativos, que contemplam ou não a tecnologia do BIM, destacando os principais elementos que devem ser considerados em um modelo de projeto desenvolvido em BIM para OAEs.

2.1. ISO 19650-1:2018

Este normativo estabelece boas práticas para a organização e digitalização de informações no ambiente BIM de maneira que se torne possível um processo integrado e colaborativo [2]. Paralelo à norma britânica, no Brasil temos em produção os

textos-base 134:000.000-010/1 [3] e 134:000.000-010/2 [4], projeto do Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção (ABNT/CEE-134) que trabalha na adaptação da ISO 19650 partes 1 e 2 para o mercado nacional.

A norma recomenda que a parte interessada contratante deve entender quais informações são necessárias sobre o projeto contratado, para melhor definir os objetivos de cada informação dos modelos. Os documentos de contrato devem definir requisitos para a entrega das informações relevantes nos modelos desenvolvidos em BIM. Segundo esta, estão são o Modelo de informações dos recursos (AIM) e o Modelo de informações do projeto (PIM). O AIM contém em suma, todos os registros de detalhes do processo estratégico que o contratante considera valioso e deseja gerenciar. A recomendação é que no final de qualquer projeto, as principais informações a serem entregues devem incluir os dados necessários que comuniquem de forma clara sobre o modelo BIM às partes interessadas para gerenciamento e intercâmbio de informações.

Semelhante as especificações do conceito do AIM, o *Michigan Department of Transportation* defende a entrega de uma espécie de inventário, como um arquivo "leia-me", devendo incluir: a lista de todos os elementos incluídos no modelo, o Nível de Desenvolvimento (LOD) associado a cada elemento do modelo, a fonte autorizada de informações para cada elemento, nome do responsável de cada elemento ou cada disciplina, comentários e notas técnicas, e configuração de unidades e escala para cada elemento da ponte, conforme aplicável [5].O Project Information Model (PIM) é o documento que dá suporte ao AIM para apoiar as atividades de gerenciamento e auditoria dos projetos, envolvendo um perfil de liderança no estabelecimento de padrões, métodos e procedimentos da produção. Por exemplo, o PIM deve conter detalhes da geometria do projeto, localização do equipamento, requisitos de desempenho durante o design do projeto, método de construção, programação, custo e detalhes de sistemas, componentes e equipamentos instalados, incluindo requisitos de manutenção, durante a construção o projeto.

Em paralelo, no cenário brasileiro, a ABDI desenvolveu o Plano de Execução BIM (PEB) que deverá ser entregue junto do modelo digital em cada etapa do projeto, dependendo das complexidades e da forma de contratação. Sendo definido pelo contratante, o PEB poderá ser entregue na etapa de estudo preliminar ou na fase de licitação, contendo minimamente, a matriz de responsabilidade e descrição do processo de modelagem.

A Figura 1 traz uma síntese da aplicação do PEB baseado na proposta que o MDOT adotou seus projetos de OAEs. Na tabela foi feita uma tradução nas recomendações e políticas aplicadas em cada etapa do projeto. Para cada recomendação do MDOT, foi proposta a adaptação de uma etapa de projeto comumente praticada pelo governo brasileiro e reformulando a planilha de Modelo de Inventário ou *Model Progression Specification* (MPS) recomendado pelo MDOT com base na Planilha Matriz do Plano de Execução BIM (PEB), para atender requisitos de OAEs.

Plano de Execução BIM para Obras de Arte Especiais (OAE) ferroviárias										
Elemento do Projeto		1 - Estudo de Viabilidade			4 - Estudo Preliminar			6 - Projeto Básico		
Classificação	Título	Responsável	Nível de desenvolvimento (ND)	Anotações	Responsável	Nível de desenvolvimento (ND)	Anotações	Responsável	Nível de desenvolvimento (ND)	Anotações
LAJES										
	LAJE									
	DEFENSA									
	PASSEIO									
	DORMENTES									
	TRILHOS									
	GUARDA-CORPO/ GUARDA-RODAS									
	JUNTAS DE DILATAÇÃO									
SUPERESTRUTURA										
	LAJE									
	TREUÇA									
	LONGARINA									
	TRANSVERSINA									
	LAJE SUPERIOR									
	LAJE INFERIOR									
	CONTRAVENTAMENTOS /									
MESOESTRUTURA										
	PILARES									
	APARELHOS DE APOIO									
	TRAVESSAS									
	ENCONTROS									
INFRAESTRUTURA										

Figura 1
Proposta de plano de execução BIM para OAEs, baseado no GUIA 1 da Coletânea Guias BIM da ABDI-MCID e no MDOT.

A classificação e codificação dos elementos resultantes dos processos construtivos não foram inclusas atendendo às especificações da NBR 15965:2015, porque a norma não abrange todos os elementos de uma ponte ferroviária. Os elementos do AIM foram abordados por sub-etapas, agregados a partir de uma abordagem sistêmica.

2.2. ISO 19650-2:2018

A ISO 19650-2:2018 [6] apresenta os requisitos associados ao gerenciamento de informações durante a fase de entrega. O trabalho de definição dos requisitos de informação e dos responsáveis por cada parte do projeto são respondidos com maior abordagem, em um ambiente comum de dados (CDE), sendo um repositório ou uma plataforma que permite se encontrar todas informações gráficas e não gráficas do projeto. Isso se faz necessário porque o processo de uma análise de projetos no âmbito das contratações públicas, gera inúmeras revisões, que por consequência requerem ajustes em outras áreas do projeto ou disciplinas, que, também deverão ser analisadas, resultando em uma cadeia de rotinas demoradas.

Um ciclo de vida semelhante ao entendimento aplicado ao CDE, considerando todas as fases de vida do projeto, na Figura 2, propõe que o processo de tomada de decisões na otimização de projetos de OAEs, necessita principalmente da figura do engenheiro ou gerente da obra junto do projetista ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento [7]. Isto reflete na mudança de práticas antigas, onde a figura do engenheiro era dividida em dois perfis diferentes para as fases de projeto, obra e manutenção.

Portanto, uma solução de fluxo de trabalho para o CDE foi submetida à análise no estudo de caso deste trabalho, considerando as disciplinas e etapas de projetos. O fluxograma foi separado em blocos de informações, obrigando cada revisão de arquivo a estar em cada um dos três estados mostrados de maneira esquematizada na Figura 2. A transição de um estado para outro foram sujeitas a processos de aprovação e autorização. Posteriormente foi sugerida a criação de um arquivo, como uma auditoria da produção de todas as revisões disponíveis para uso durante e após cada atividade de entrega.

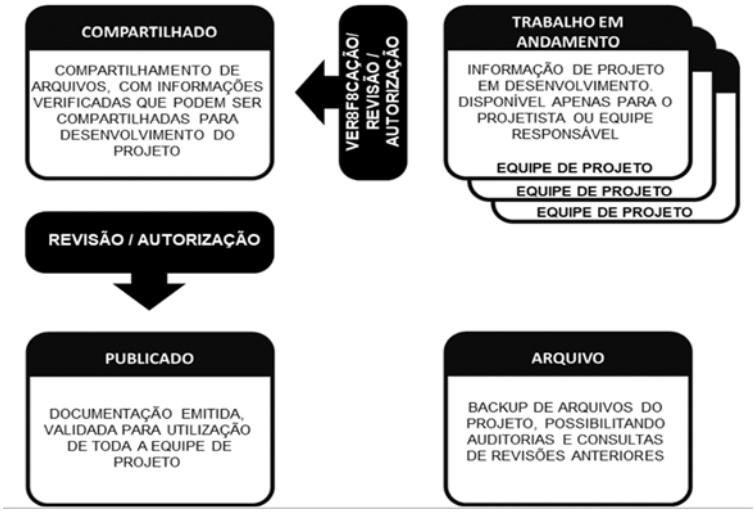


Figura 2
Ambiente comum de dados: Fluxo de revisões propostos.

3. Checklists de elaboração e gabarito para roteiros de análise

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) contempla especificações e orientações para elabotação de checklists e roteiros de análise em projetos básicos e executivos de infraestrutura. Dessa forma, estes guias foram utilizados como base para verificação e adaptado ao uso do BIM.

O roteiro para elaboração dos relatórios de análise e verificação integral do trabalho, os seguintes pontos cruciais: 1. Referencial técnico e normativo; 2. Formalização de responsabilidades técnicas e autores do projeto; 3. Verificações de caráter geral; 4. Verificações específicas de cada disciplina, bem como atendimento às normas e conformidade dos desenhos técnicos.

4. Nível de Desenvolvimento (LOD) para cada fase de projeto de OAEs

O *American Institute of Architects* (AIA) apresenta uma medida para classificar a maturidade das informações e o quão confiável a geometria e as informações do modelo são nas diferentes fases do desenvolvimento do projeto apresentando as definições de Nível de Desenvolvimento (LOD).

O nível de maturidade esperado no projeto básico e executivo de pontes da VALEC já é definido na Norma Técnica de Especificação de Projetos Nº 80-EG-000A-11-000, que define os requisitos para cada etapa e as diretrizes especificas para a preparação do projeto de pontes.

O nível de detalhamento das informações presente em um modelo BIM depende de quais funções elas serão usadas [8]. Então, pegamos por exemplo a estimativa de custos, o modelo deve ser suficientemente detalhado para fornecer as quantidades

de material necessárias para um orçamento estimativo. Um modelo em 4D poderia abranger dois objetivos: confecção do cronograma, estimativa de custos e obras setoriais temporárias. Entretanto, informações deste mesmo modelo seriam demais para análises hidrográficas e estruturais, sendo mais adequado menores detalhes, em um modelo que apresentasse somente geometria e dados técnicos característicos de cada disciplina. O dimensionamento de modelos de ponte também precisa ter precisão maior para que possam ser replicados na fabricação de peças ou mesmo na construção.

Embora a ISO 19650 não sugira padrões da indústria para definições de LOD, é sugerido que deve ser evitada a entrega de informações em excesso. As diretrizes estabelecidas pelo *American Institute of Architects* (AIA) podem ser adaptadas conforme mostrado na Tabela 1 seguinte.

Tabela 1
Diretrizes de LOD para OAEs conforme estabelecidas pela AIA.

LOD	Detalhamento dos modelos necessários
LOD 100	Modelo generalista indicando altura, volume, localização e orientação. Pode ser modelado em três dimensões ou representado por outros dados.
LOD 200	Modelo generalista, indicando todas as informações do LOD 100, podendo os atributos serem anexados ao elementos do modelo. Deve indicar quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximados.
LOD 300	Modelo detalhado com precisão no quantitativo, tamanho, forma, localização e orientação. Os atributos também podem ser anexados.
LOD 400	Modelo semelhante ao LOD 300, incluindo plantas de fabricação, montagem e detalhamento.
LOD 500	Modelo construído com precisão em quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Os atributos devem ser informado durante modelagem.

Neste ponto de entendimento, foi feita uma associação do nível de detalhamento necessário no desenvolvimento de OAEs aos principais elementos técnicos exigidos na contratação pública e as definições estabelecidas na Tabela 3, de maneira mais complexas, porque, neste caso, a mensuração do nível de desenvolvimento de projeto foi pré-estabelecida pela Lei de Licitações e Contratos nº 8666/93 e nas referências de normativos brasileiros. Neste caso, o BIM deverá se adaptar ao modelo atual de contratação, e não o contrário.

Outra dificuldade na padronização de uma LOD para OAEs é que diferentes recursos podem ser modelados em diferentes estruturas de dados e *softwares*. Para o BIM, a maioria dos *softwares* usado produzem modelos compatíveis com *.IFC,* o que não é o caso em OAEs e outros serviços de infraestrutura urbana. Ao tentar atribuir LOD aos parâmetros de um elemento, é importante usar definições que fazem referência a um padrão. No entanto, no caso dos modelos de infraestrutura, não há um padrão para ser preenchido. Em vez disso, uma variedade de padrões ou referências podem ser adaptadas e usadas, resultando em elementos com informações desnecessárias para aquela finalidade, mas que estão corretamente no LOD definido.

Atualmente, o MDOT está definindo uma estrutura de LOD de modelagem abrangendo todas as suas disciplinas de transporte como alternativa para prover confiabilidade da

geometria e das informações do modelo nas diferentes fases. Como o maior contratante deste tipo de obras no Brasil é o governo, a determinação de uma LOD deve atender cada fase de auditoria e execução da contratação pública. Um possível planejamento genérico, com classificação do LOD mais adequada para recursos relacionados à OAEs é proposto na tabela 2. A tabela foi adaptada da proposta do MDOT, mas levando em consideração as exigencias da Lei de Licitações e Contratos nº 8666/93 e recomendações para cada uso, feitas pela AIA e anteriormente apresentado na Tabela 1.

Nesse cenário, o LOD designado em cada elemento garante apenas a entrada de dados necessários e vai sendo amadurecido a cada etapa à medida que o projeto evolui, de maneira que essa metodologia gradual é mais valiosa em questão de tempo e economia do que se fosse especificado um nível de detalhamento para um modelo inteiro.

Tabela 2
Proposta de LOD em projetos de pontes para o modelo de contratação nacional.

LOD	Descrição	Fase Final
LOD-V	Os elementos suficientemente desenvolvidos para transmitir informações do EVTEA, suficientemente **desenvolvido para visualização** e divulgação pública do conceito do projeto. A geometria deverá estar correta, porém os elementos podem ser representados como objetos únicos.	EVTEA, levantamento de dados (LV), marketing e divulgação do modelo conceitual
LOD-A	Gráficos e designs suficientemente desenvolvidos para permitir serem feitas **análises estruturais,** sendo preciso mas permitindo simplificações onde os detalhes não afetam a análise. O modelo deve permitir a elaboração do orçamento para contratação, detalhando quantitativos a superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura	Projeto básico (PB)
LOD-P	Gráficos e designs suficientemente desenvolvidos para oferecer suporte ao projeto executivo, incluindo históricos de revisões de projeto, memorial descritivo. O modelo deve ser suficientemente desenvolvido para oferecer suporte a todo o projeto final, incluindo todos os detalhes necessários para **produção do plano de execução completo da OAE.**	Licitação e contratação
LOD-F	Projeto executivo final. Detalhamento para o uso do contratado, suficientemente desenvolvido para **fabricação e execução da obra**. Isso seria essencialmente uma orientação para os empreiteiros sobre o que entregar e para manutenção pós-construção	Projeto Executivo (PE)

5. Conformidade dos desenhos técnicos e criação de elementos-tipo para OAEs

A definição para o grupo de informações e conteúdo deve ser efetiva e padronizada de maneira que o contratante e todos os envolvidos no processo (*stakeholders*) consigam entender quais informações podem ser retiradas do arquivo.

A partir deste ponto, os modelos digitais em BIM, podem agregar, tanto em suas propriedades quanto em seus modelos de informações do projeto (PIM). Os modelos dos elementos nos desenhos técnicos dependerão do nível de detalhamento (LOD) adotado em cada etapa de projeto (proposto no item 4), garantindo assim que os

modelos visualizados informem expressamente os detalhes do objeto modelado, com a precisão necessária para análise do projeto e sua construtibilidade.

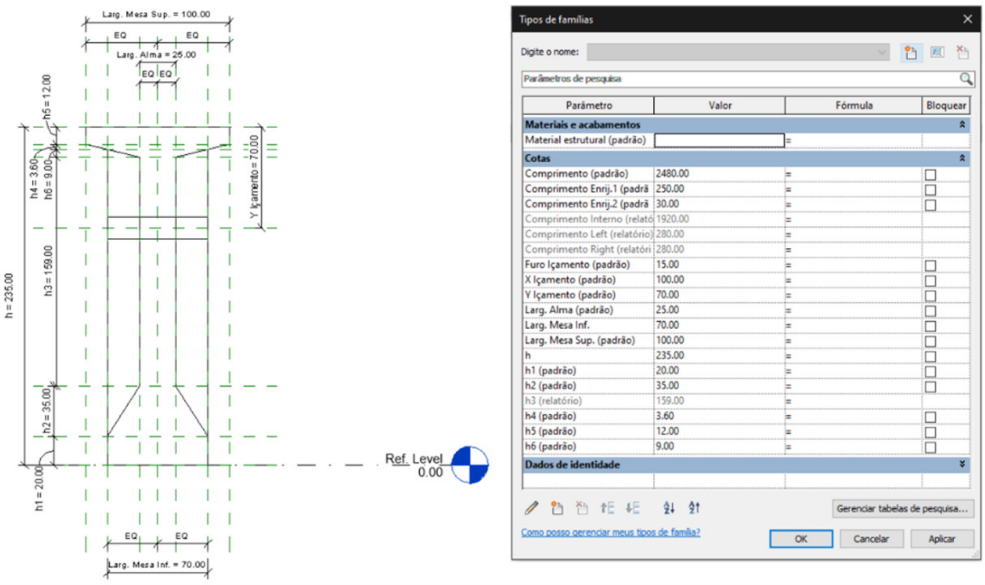


Figura 3
Modelo paramétrico de pilar e consolo.

6. Extensões de arquivos BIM adequados para a contratação

As duas extensões de arquivos que possibilitam maior interoperabilidade permitindo a transferências de informações geométricas e não geométricas são *.IFC* e o *.LandXML*. Entretanto, os arquivos *LandXML* em projetos de OAEs, não atenderam a interoperabilidade de informações, apresentando apenas dados de polilinhas, pontos de coordenadas, definindo alinhamentos, perfis longitudinais e verticais. Portanto, é sugerido o uso das duas extensões para melhor interoperabilidade, trabalhando em paralelo, devendo o *.LandXML* ser empregado como modelo de produto para representar dados do terreno e o *.IFC*, usado para representar os modelos de estrutura e elementos arquitetónicos desenvolvidos em 3D nos tabuleiros, pilares e vigas por exemplo.

7. Estudo de caso

O estudo de caso foi realizado tendo como fonte o Projeto Executivo da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), especificamente no sub-trecho definido entre o km 1.310+200 e o km 1.322+300, parte integrante do Trecho: Figueirópolis/ Ilhéus, segmento: Riacho Jacaré/ Rio Preguiça, Lote :10EF / 2F de construção (km 1.253,260 – km 1.371,137).

A estrutura do modelo estudado atendeu as seguintes exigências detalhadas pelo grupo da pesquisa: A escolha do *software* de modelagem para cada estapa, documentação

técnica da execução do contrato e a definição dos entregáveis, modelados em 2D em plataforma CADD.

Entretanto, todos os modelos foram disponibilizados somente em formato *.pdf,* separados por disciplinas, pela empresa Concremat Engenharia e Tecnologia S/A, por meio da contratação junto à VALEC S/A. Dessa forma cada disciplina foi transportada para o BIM por uma equipe de alunos do curso de *Lato Sensu* em BIM *Expert* – Projetos de Infraestrutura, do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília, que trabalharam de maneira colaborativa para que o modelo pudesse ser analisado nas disciplinas da etapa executiva de projeto.

Para melhor interoperabilidade entre a equipe, foram escolhidos *softwares* BIM de um mesmo desenvolvedor, em versão gratuita para estudantes. Portanto as funções de redução de tamanho, diminuição do processador e integridade das informações nos arquivos só foram possíveis ser testadas nos *softwares* da Autodesk®.

As imagens de chão (ortofotos) foram disponibilizadas em formato GeoTIF, mas não foram encontrados arquivos *.TFW* que indicam o georreferenciamento das imagens. Além disso, o modelo digital de terreno e levantamento topográfico, por falta de informação completa, foram recriados, comprometendo a precisão dos dados. Todos os dados geotécnicos do terreno, bem como seus laudos, foram importados diretamente para o *software* Infraworks®, não passando por análise.

O processo de modelagem teve como objetivo disponibilizar as famílias parametrizadas para futuros trabalhos a serem desenvolvidos pela comunidade. Portanto, todos os arquivos foram configurados de acordo com as normas de Projeto Tipo da VALEC para OAEs conforme propostas de LOD-A até LOD-F, compondo a seguintes premissas: detalhar os materiais e forma geométricas e espaciais, separando entre infraestrutura, mesoestrutura e superestrutura; vistas 2D e 3D, cortes e detalhamentos gerados; e quantificação dados de geometria e espaço.

Outros testes também foram feitos na plataforma do *Autodesk® Infraworks* a fim de estabelecer e validar as propostas das normas abordadas neste trabalho, por exemplo utilizando modelos de OAE com nível de detalhamento de modelos mais generalistas e indicando somente configuração de altura, volume, localização e orientação. Este cenário atenderia etapa de projetos que necessitam de LOD-V.

8. Parâmetros de custo para OAEs

Na parametrização de custos para OAEs são atribuídos custos com base no CMG (Custo Médio Gerencial). Estes valores são mensalmente disponibilizados e atualizados pelo DNIT, e consideram custos de Acabamento, Infraestrutura, Mesoestrutura e Superestrutura. Entretando o CMG é dado em proporção à área do tabuleiro, e estes parâmetros não precisaram ser checados. Adotou-se o CMG em projetos de LOD-V.

Para projetos de LOD-A até LOD-F, considerou-se orçamentos da fase analítica e executiva, sendo utilizada a tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices, disponibilizada pelo governo brasileiro. Todas as famílias foram cadastradas com parâmetro custo no sistema do *Revit*® para referenciarem o preço e seguiu-se a normativos da VALEC S/A para definição dos serviços de contratação.

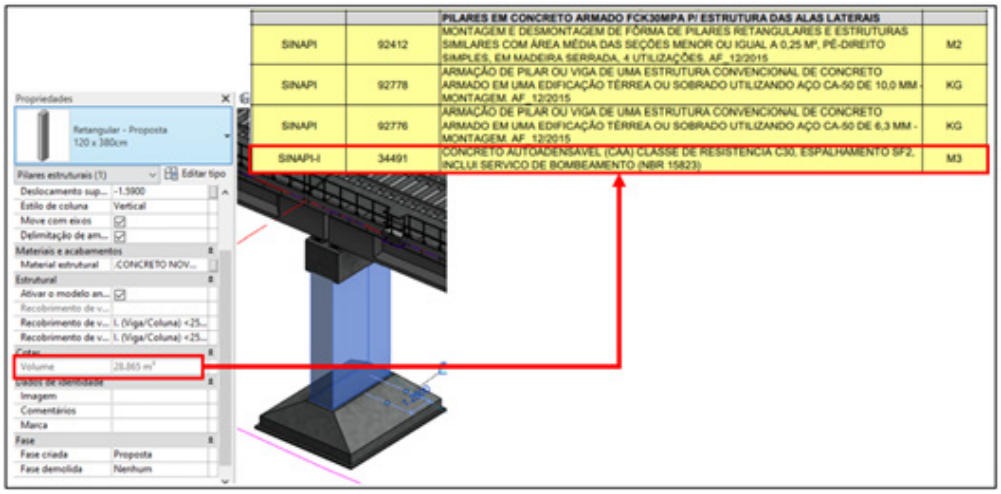


Figura 4
Levantamento de quantitativos para orçamento.

9. Conclusão

Os entregáveis apresentaram erros comuns de perda de informação, de quando se transporta para o ambiente BIM. Isso porque a ausência de arquivos auxiliares e dados dos modelos e a falta de padronização do sistema de coordenadas, fazem com que não seja possível a re-projeção exata das propriedades e atributos em um ambiente CADD. Tal imprecisão pode acarretar no aumento desnecessário do custo da obra.

Mesmo com todas as limitações expostas neste trabalho, as normas estrangeiras, bem como o fluxo de trabalho proposto sobre as normas britânicas, obteve resultado bastante satisfatório para verificação, sendo possível ser completamente documentada todas as etapas do modelo federado BIM. A padronização de trabalho e dos níveis de desenvolvimento de projeto também mostraram-se muito promissores para a elaboração de projetos conceituais e executivos no âmbito da contratação pública brasileira, integrando todos os níveis de detalhe.

Quanto à checagem de atendimento às normas, foi instalado um pacote de checagem de parâmetros pré-determinados, chamado "*Brazilian Country-kit*", disponibilizado pela própria Autodesk, contendo padrões DNIT. Isto tornou mais rapido e preciso o desenvolvimento do projeto na fase de estudo de viabilidade. Todavia, no caso de OAEs, o sistema ainda é valico para detalhamento estrutural. Portanto, fez-se outra análise revisando normas ANBT e checando interferências e locações espaciais das diferentes disciplinas. Este segundo tipo de análise é mais comum em projetos de edificação.

Este fato evidenciou ainda mais a necessidade da padronização e definição de informações necessárias para um modelo de projetos nesse porte. Portanto, sugere-se expandir o espoco da pesquisa na realização e checagem automatizada de análise estrutural embasados nas normas da ABNT, DNIT e VALEC apresentadas neste trabalho.

Referências

[1] K. Willem. *Building information modeling: Planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations (McGraw-Hill construction series)*. N.Y.: McGraw-Hill Education, 2008.

[2] ISO 19650-1:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles, 2018.

[3] TEXTO-BASE 134:000.000-010/1:2018. Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem de informações de construção (BIM) – Gerenciamento de informações usando modelagem de informações de construção – Parte 1: Conceitos e princípios. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[4] TEXTO-BASE 134:000.000-010/2:2018. Organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem de informações de construção (BIM) – Gerenciamento de informações usando modelagem de informações de construção – Parte 2: Fase de entrega dos ativos. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

[5] MDOT. Michigan Department of Transportation. "CONTRACT NO 2016-0175: Final Report: Development of 3D and 4D Bridge Models and Plans", Michigan, 2018.

[6] ISO 19650-2:2018. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information about buildings and civil building information modelling. Part 2: Delivery phase of the assets, 2018.

[7] W. Liu , H. Guo, H. Li and Y. Li. "Retracted: using BIM to improve the design and construction of bridge projects: a case study of a long-span steel-box arch bridge project", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol 11, pp. 1-11, January, 2014. doi: 10.5772/58442.

[8] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N. J.: Wiley, 2008.

Impressão 3D na construção metálica

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.35

Trayana Tankova[1], **Carlos Zhu**[2]

[1] *Universidade de Coimbra, ISISE, Coimbra, 0000-0002-2764-0177*

[2] *Universidade de Coimbra, CEMMPRE, Coimbra, 0000-0001-6656-785X*

Resumo

Na era da internet e dos robôs, dispositivos sofisticados e simulação em tempo real, o setor da construção continua altamente dependente do trabalho manual. Por outro lado, o rápido desenvolvimento em áreas tecnológicas como robótica, computadores, sensores, programação, interfaces homem-máquina e inteligência artificial oferece um enorme potencial para aplicações recentes. A impressão 3D (fabrico aditivo) em metais, está a ficar popular em várias indústrias, no entanto existem vários assuntos que precisam de ser investigados. Este artigo apresenta um resumo das oportunidades e desafios na adoção do fabrico aditivo na construção metálica, descrevendo uma solução de fabrico aditivo adotado na Universidade de Coimbra e apresentando alguns casos de estudo já desenvolvidos através desta solução.

1. Introdução

Na era da quarta revolução industrial [1], o uso de diversas tecnologias, como robôs autónomos, inteligência artificial, realidade aumentada, fabrico aditivo (AM), simulação, internet das coisas (IoT), e *Big Data*, tem evoluído para a sua integração de forma a alcançar uma produção mais eficiente que poderá suportar a uma revolução na indústria da construção. No centro desta revolução são os dados, que fornecem informação sobre o que está a acontecer, que quando processados posteriormente, podem levar a uma análise descritiva sobre o que aconteceu no processo e/ou uma análise diagnóstica que ainda pode fornecer previsões com base na experiência existente. É neste contexto que a Indústria 4.0 oferece enormes benefícios para o futuro da fabricação e automação, principalmente ao considerar os vários desafios sociais e ambientais atualmente presentes.

No que diz respeito à indústria da construção, o fabrico aditivo apresenta soluções muito interessantes pela liberdade de forma e pela possibilidade de usar vários materiais de forma eficiente. Embora esta tecnologia tenha desenvolvimentos desde o início da década de 80 [2], ainda existem muitos problemas não resolvidos que dificultam a aplicação da impressão 3D em metal.

O processo usual de fabricação (AM) inclui um modelo CAD (*Computer-Aided Design*) que é um modelo 3D da peça desejada, geralmente no formato de arquivo STL. Este modelo é posteriormente processado por um software de *slicing*, que gera camadas a serem impressas passo a passo, que são então traduzidas para um formato aceite pela célula robótica (ex. código na linguagem do controlador lógico do robô) onde estão caracterizados os requisitos/parâmetros para a execução da estrutura [3].

Neste artigo são discutidos alguns problemas associados com a adoção mais corrente de fabrico aditivo na construção metálica, posteriormente é apresentada uma solução desenvolvida na Universidade de Coimbra e finalmente alguns exemplos, em forma de casos de estudo, são apresentados.

2. Fabrico aditivo em metais

O fabrico aditivo de metal pode ser feito de várias maneiras, uma explicação detalhada no contexto da indústria de aviação é apresentada em [4]. Dentro de todas as técnicas disponíveis para a construção de aço, a mais adequada em termos de velocidade e dimensão é uma subcategoria de deposição por energia direta (DED) designada por Fabrico Aditivo por Soldadura por Arco Elétrico (*WAAM – Wire and Arc Additive Manufacturing*). Uma grande desvantagem deste processo, entretanto, é a qualidade do material final e as propriedades geométricas. Semelhante aos componentes soldados, os elementos fabricados por WAAM passam por um arrefecimento rápido que resulta na formação de defeitos internos, propriedades não homogêneas do material, tensões residuais e geometria distorcida [5]. Como a formação de tensões residuais depende da taxa de aquecimento-arrefecimento, as peças metálicas impressas em

3D dependem da sequência da sua construção [6] - [8], que ao mesmo tempo é um dos principais fatores no desenvolvimento de imperfeições. Consequentemente, o processo AM pode beneficiar com a otimização da orientação de deposição [9], [10]. A espessura das camadas, por exemplo, tem um impacto direto na precisão de execução para formas curvas e livres, que também podem ser otimizadas [11], [12]. Outra questão geométrica relacionada ao processo de deposição é o suporte de partes em consola - a peça inacabada está sujeita a um estado de tensão diferente da final, que pode resultar em rotura prematura. Além disso, ao construir com inclinação a execução pode ser problemática devido à orientação da tocha na produção automática e / ou a possibilidade de formação de poça de fusão líquida [13].

Melhorias adicionais do WAAM podem ser alcançadas com variantes de processo, tais como técnicas de maquinagem, aquecimento e / ou arrefecimento entre camadas, pré-aquecimento, entre outros [14]. As propriedades do material podem ser melhoradas pela incorporação de diferentes pós-tratamentos, como tratamento térmico e laminação a frio [15] e processos mais recentes como tratamento a laser [16].

3. Sistema e laboratório de fabrico aditivo na Universidade de Coimbra

Uma nova instalação robótica inspirada pelas novas tecnologias e com o objetivo de ultrapassar os problemas existentes, está a ser desenvolvida na Universidade de Coimbra [17]. O sistema representado na Figura 1 engloba várias tecnologias da Indústria 4.0 que em combinação fornecem um sistema funcional para a aplicação na indústria de construção em aço. O sistema incorpora CAD, modelação de materiais, simulação de processos, e controle de produção pelo uso de diversos sensores num sistema inteligente de fabrico aditivo, onde as propriedades geométricas e materiais finais são ajustadas de acordo com as necessidades do projeto.

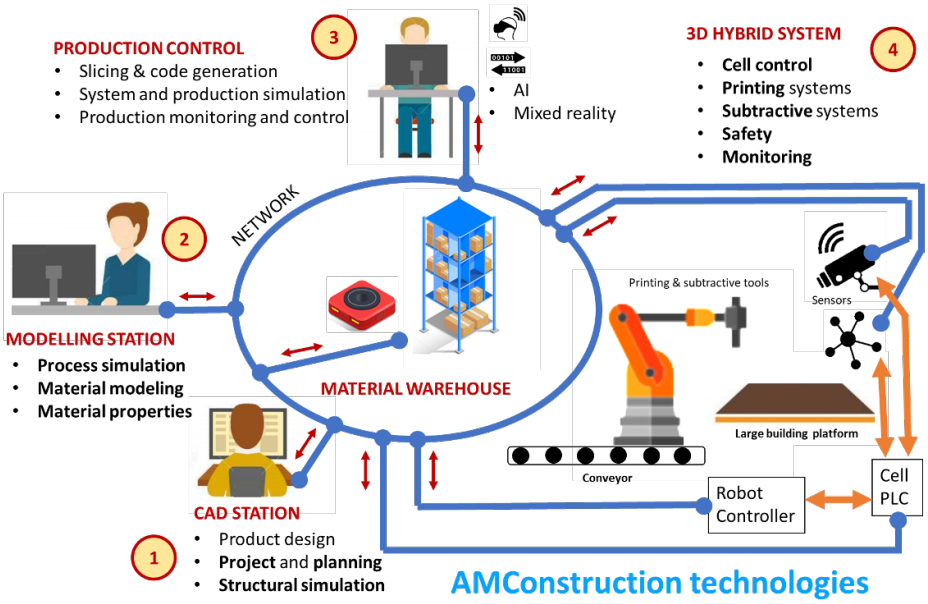


Figura 1
Sistema de fabrico aditivo.

Para atingir os objetivos, o sistema desenvolvido (Figura 2) é equipado com: um ABB IRB 4600 (robô de uso geral otimizado para tempos de ciclo curtos) para tarefas WAAM, um eixo-externo ABB IRBT 2005 5m que permite uma área de trabalho maior; uma máquina de soldadura FRONIUS TPS 400i - CMT *Advanced* equipada com as mais recentes tecnologias de soldadura; diversos sensores para monitoramento da execução. O sistema ainda pode funcionar com o processo de deposição por laser – *Laser Metal Deposition* (LMD), onde é utilizado um robô Kuka (KR60-3) e uma ferramenta de deposição da *Meltio*.

O controle sobre as propriedades do material é feito com base nos parâmetros do processo - taxa de deposição do arame, corrente e voltagem do arco, alimentação do arame, pré-aquecimento, temperatura entre passes e velocidade da tocha. As ferramentas disponíveis atualmente permitem previsões baseadas em análises numéricas e utilização de experiência previa através de utilização de bases de dados e algoritmos inteligentes.

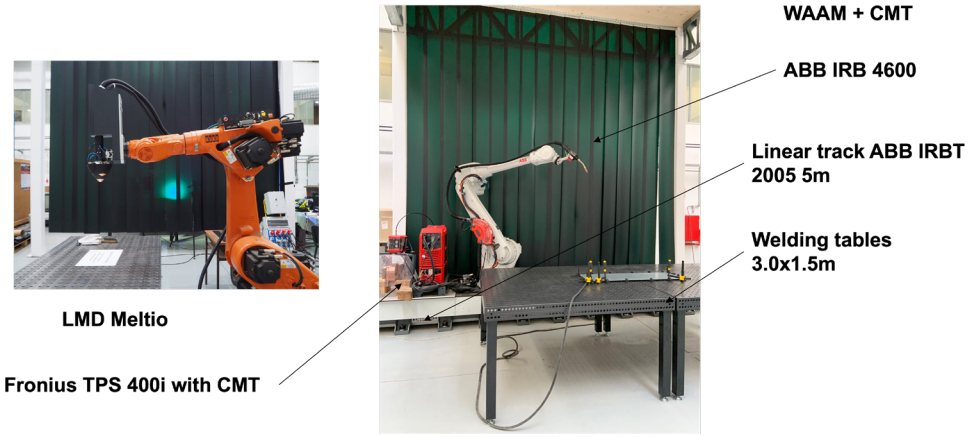


Figura 2
Laboratório de fabrico aditivo na Universidade de Coimbra.

4. Casos de estudo

Foram desenvolvidos vários casos de estudo com os objetivos de validar e testar a utilização do sistema WAAM em diferentes cenários. Nesta fase, foram testadas as possibilidades de execução de formas diferentes. Numa fase posterior seriam comparados com os processos convencionais de fabrico.

4.1. Paredes e tubos

As paredes e os tubos foram produzidos com o objetivo de caracterizar as propriedades mecânicas do material depositado através de fabrico aditivo. Em ambos os casos, paredes e tubos, ficou claro que nos pontos de início e fim de soldagem, hà uma concentração de imperfeições. Por isso foi adotada uma sequência aleatória para a determinação destes pontos. Uma parede está ilustrada na Figura 3, com as dimensões 500 mm x 300 mm e uma espessura de 8mm. A parede produzida com um

arame de aço carbono (AWS A5.18 ER70S-6) foi utilizada para provetes de ensaios de tração, onde foram feitos dois tipos de provetes – maquinados e não maquinados.

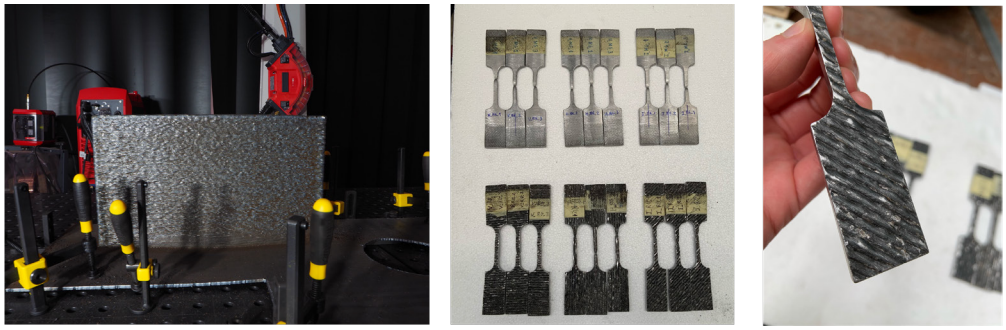


Figura 3
Parede de aço carbono e provetes de ensaios de tração.

A outra linha de ensaios é focada na produção de secções de comprimentos pequeno, para determinar problemas de estabilidade global. Estes ensaios servem para estimativa da resistência da secção considerando as propriedades do material e as tensões residuais resultantes do processo aditivo. O objetivo será estabelecer a ligação entre os parâmetros da produção e a resistência final da secção.

Um exemplo é apresentado na Figura 4, onde um tubo cilíndrico oco produzido com aço carbono (AWS A5.18 ER70S-6) foi submetido a um ensaio à compressão.

Figura 4
Tubo circular para ensaios de *stub-column*.

4.2. Conexões de geometrias

Outro tipo de casos de estudo foi a exploração de ligações entre geometrias, neste caso foram estudados a ligação entre dois tubos de secção constante e interligação entre três tubos com secção variável. Nestes casos de estudo ficou clara a importância de controlar a temperatura pela gestão do tempo entre camadas para conseguir evitar fusão indesejada e manter a qualidade da superfície.

Figura 5
Conexões.

4.3. Árvore de Natal

Finalmente o último caso de estudo foi uma contemporânea árvore de Natal que é representada por uma pirâmide constituída por três pernas (ocas), com uma torção de 60 graus no eixo vertical, e uma altura de750 mm. Os desafios neste caso de estudo foram: i) conseguir ter a orientação da tocha para conseguir a inclinação e a torção das pernas; ii) construir a base oca e iii) conseguir a ligação entre as pernas no topo da árvore (Figura 6).

Neste caso as orientações foram adotadas com um valor máximo de 10 graus, variando nas direções ortogonais consoante a posição da camada, onde as orientações foram calculadas para cada camada.

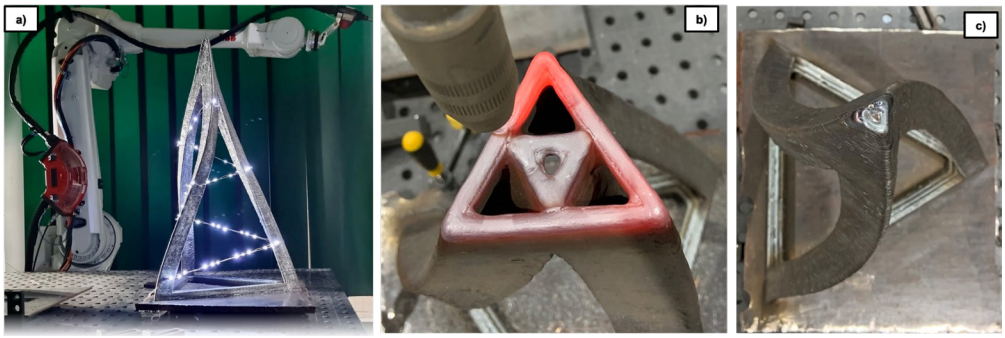


Figura 6
a) Árvore de Natal, b) zona de ligação e c) vista de cima.

5. Conclusão

Este artigo resumiu várias tecnologias disponíveis com o potencial para aplicação na indústria de construção. No entanto, o fabrico aditivo foi identificado como uma aplicação emergente para a construção, impulsionada pelo desejo arquitetónico por estruturas de forma livre.

Foram discutidos vários aspetos que têm influência na qualidade das propriedades do material e na otimização do ciclo de produção. Foi destacado que o processo de fabrico aditivo pode beneficiar significativamente da integração de softwares existentes com sensores avançados na produção. Ainda foi apresentado um sistema

inteligente capaz de incorporar deposição direta (WAAM), simulação e controle de produção para fornecer um produto final com a qualidade desejada. Finalmente, foram demonstrados casos de estudo realizados com objetivo de estudar e determinar os parâmetros que são importantes para o fabrico e aspeto final da peça.

Como estudos futuros identificam se a correlação entre os parâmetros de deposição e as trajetórias nas propriedades do material e a qualidade da impressão.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por:

- projeto AMCONSTRUCTION, com a referência Dr. Beate Schuler Innovation Fellowship 2019;
- FCT / MCTES pelos fundus (PIDDAC) na unidade de I&D Instituto para Sustentabilidade e Inovação na Engenharia Civil (ISISE), com referencia UIDB / 04029/2020

Referências

[1] Pires, J. N., "Robótica Industrial – Indústria 4.0", 1st edition, Lidel, 2018

[2] Leach R. K., Bourell D., Carmignato S., Donmez A., Senin N., Dewulf W., Geometrical metrology for additive manufacturing. In: CIRP Annals – Manufacturing Technology, 68, 677-700.

[3] Pires, J. N. and Azar A. (2018). Advances in robotics for additive/hybrid manufacturing: robot control, speech interface and path planning. In: Industrial robot: An International Journal, 45, 311-327.

[4] Vaha P., Heikkila P., Kilpelainen P., Jarviluoma M., Gambao E., (2013). Extending automation of building construction – Survey on potential sensor technologies and robotic applications. In: Automation in Construction, 36, 168-178.

[5] Oliveira J. P., Santos T. G., Miranda R. M., (2020). Revisiting fundamental welding concepts to improve additive manufacturing: From theory to practice, In: Progress in Materials Science,107, 100590.

[6] Ding, D., Pan, Z., Cuiuri, D. and Li, H., 2015. Wirefeed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 81 (1-4), pp. 465--481.

[7] Ding, J., Colegrove, P., Mehnen, J., Ganguly, S., Almeida, P.S., Wang, F. and Williams, S., 2011. Thermo-mechanical analysis of wire and arc additive layer manufacturing process on large multilayer parts. Computational Materials Science, 50(12), pp.3315-3322.

[8] Michaleris, P., 2014. Modeling metal deposition in heat transfer analyses of additive manufacturing processes. Finite Elements in Analysis and Design, 86, pp. 51-60.

[9] Zhang Y., Bernard A., Harik R., Karunakaran K.P. (2017). Build orientation optimization for multipart production in additive manufacturing. In: Journal of Intelligent Manufacturing, 28, 1393-1407.

[10] Buchanan C., Matilainen V. P., Salminen A., Garnder, L. (2017). Structural performance of additive manufactured metallic material and cross-sections. In: Journal of Constructional Steel Research, 136, pp. 35-48

[11] AM-Motion (2018) A Strategic Approach to Increasing Europe's Value Proposition for Additive Manufacturing Technologies and Capabilities – First Draft AM Roadmap www.rm-platform.com/images/D5.3_rev_July2018-rev9.pdf.

[12] Sabourin E, Houser SA, Bohn JH (1996) Adaptive Slicing Using Stepwise Uniform Refinement. In: Rapid Prototyping Journal 2:20–26.

[13] Greer C., Nycz A., Noakes M., Richardson B., Post B., Kurfess T., (2019). Introduction to the design rules for Metal Big Area Additive Manufacturing. In: Additive manufacturing, 27, 159-166.

[14] Rodrigues T. A., Duarte V., Miranda R. M., Santos T. G., Oliveira J. P. (2019). Current status and perspectives on wire and arc additive manufacturing (WAAM). In: Materials, 12, 1121.

[15] Gisario A., Kazarian M., Martina F., Mehrpouya M. (2019). Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review. In: Journal of Manufacturing Systems, 53, 124-149.

[16] Parandoush P., Hossain A., (2014). A review of modelling and simulation of laser beam machining. In: International Journal of Machine Tools & Manufacturing, 85, 135-145.

[17] Pires, J. N., Azar, A. S., Nogueira, F., Zhu, C. Y., Branco, R. and Tankova, T. (2021), "The role of robotics in additive manufacturing: review of the AM processes and introduction of an intelligent system", Industrial Robot.

Metodologia BIM para a avaliação do desempenho em serviço de estruturas de betão armado com análise não-linear

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.36

Renato Correia[1], **Carlos Sousa**[2], **Miguel Azenha**[3]

[1] *ISISE, Universidade do Minho, Guimarães*

[2] *CONSTRUCT, Universidade do Porto, Porto, https://orcid.org/0000-0001-7741-666X*

[3] *ISISE, Universidade do Minho, Guimarães, https://orcid.org/0000-0003-1374-9427*

Resumo

Neste artigo é descrito o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação do desempenho em serviço de estruturas de betão armado, em fase de projeto, com base na informação presente em modelos BIM. Esta informação, comunicada a um programa de análise estrutural não-linear, com base no método dos elementos finitos, permite a avaliação do comportamento da estrutura naquilo que se pode considerar como um ensaio virtual do seu desempenho. Este trabalho surge em sequência de um trabalho anterior [1], desenvolvido na Universidade do Minho, que se dedicava a finalidade semelhante, mas focando-se apenas no comportamento em Estado Limite Último. Neste artigo é descrita uma expansão do trabalho anterior, que consiste na implementação de uma análise no domínio do tempo, com início na simulação simplificada do processo construtivo, e que se desenvolve até ao fim da vida útil da estrutura. Para uma reprodução realista do desempenho estrutural, os modelos materiais são definidos com contabilização dos efeitos da retração e da fluência.

A interoperabilidade entre a plataforma de modelação (Revit) e o software de análise estrutural (Diana) ocorre através de um plug-in desenvolvido em C#, capaz de recolher e tratar a informação presente no modelo BIM. Esta informação é utilizada na criação de um script, responsável pela definição completa da análise. A ferramenta foi implementada e testada num caso de estudo de um pequeno edifício.

1. Introdução

O projeto de um edifício é definido como: "o conjunto coordenado de documentos escritos e desenhados que definem e caracterizam a conceção funcional, estética e construtiva de uma obra, bem como a sua inequívoca interpretação por parte das entidades intervenientes na sua execução" [2]. A sua desvalorização origina adversidades ao longo do processo construtivo como o incumprimento de prazos, prejuízos orçamentais e a manifestação de patologias construtivas [3]. Em Portugal, já tem sido identificada uma clara necessidade de evolução no setor da construção, particularmente no que diz respeito à qualidade [4]. Estudos comprovam que a qualidade de projeto é gravemente comprometida por pormenorização deficiente, erros de cálculo e o recurso a materiais inadequados [3]. Para a garantia da qualidade de projetos, uma solução consiste na implementação de metodologias BIM (Building Information Modelling) [5], que reúnem vantagens essenciais para a conceção de projeto como por exemplo: (i) a propagação rápida de alterações; (ii) a melhoria da cooperação interdisciplinar; (iii) a automatização de tarefas como a produção automática de peças desenhadas; e (iv) a interoperabilidade de modelos digitais com diversos softwares [6]. No contexto particular da análise e dimensionamento estrutural, o recurso a metodologias BIM permite a interoperabilidade do modelo estrutural entre as plataformas de modelação e os softwares de análise estrutural. Na sua base está o modelo analítico, que consiste frequentemente na simplificação da estrutura real através da redução de elementos volumétricos do modelo para elementos lineares ou planares, mais aptos às metodologias de análise correntes em projeto de estruturas. Esta simplificação origina perdas de informação [7], que naturalmente deverão ser geridas pelo Engenheiro de Estruturas. No caso de estruturas de betão armado, destaca-se ainda a existência de fenómenos não lineares como o comportamento em compressão do betão, a abertura de fendas e a cedência das armaduras, que provocam a alteração do comportamento estrutural e a redistribuição de esforços [8]. A obtenção de resultados que tenham em conta estes fenómenos de 'não-linearidade' de forma explícita exige o recurso a ferramentas de análise estrutural específicas, que não fazem normalmente parte do leque de opções disponíveis na prática corrente dos gabinetes de Engenharia. Além disso, o emprego destas análises em projeto é visto frequentemente como impraticável, devido à complexidade inerente à preparação do modelo de análise, o significativo tempo de cálculo computacional e a necessidade de experiência para a análise dos processos de convergência e dos resultados obtidos [9]. De forma a eliminar/mitigar algumas das adversidades mencionadas e com o objetivo de melhorar as capacidades de simulação alcançáveis no contexto do projeto de estruturas, neste artigo é descrita uma metodologia que foi desenvolvida para a avaliação do desempenho em serviço de estruturas de betão armado, mediante uma ferramenta de interoperabilidade responsável pela interpretação da informação presente no modelo BIM, para a definição automática de uma análise estrutural não-linear.

2. Metodologia para a avaliação do desempenho em serviço

A presente metodologia visa a avaliação do desempenho em serviço de estruturas de betão armado, com base na informação presente em modelos BIM. Para a sua implementação são selecionados o software Revit, para a modelação de um pequeno edifício de betão armado, e o software Diana, para a análise estrutural não-linear, através do método dos elementos finitos.

O Diana permite a execução automática de tarefas através de comandos na linguagem de programação Python. Deste modo, é desenvolvida uma ferramenta de interoperabilidade para composição de um script que, quando introduzido no Diana, permite a elaboração do modelo de análise de forma automática. A composição deste script é realizada com recurso à interface

de programação de aplicações (API), a partir de código realizado em C# que acede ao modelo Revit para a interpretação e adaptação da informação presente no modelo estrutural BIM.

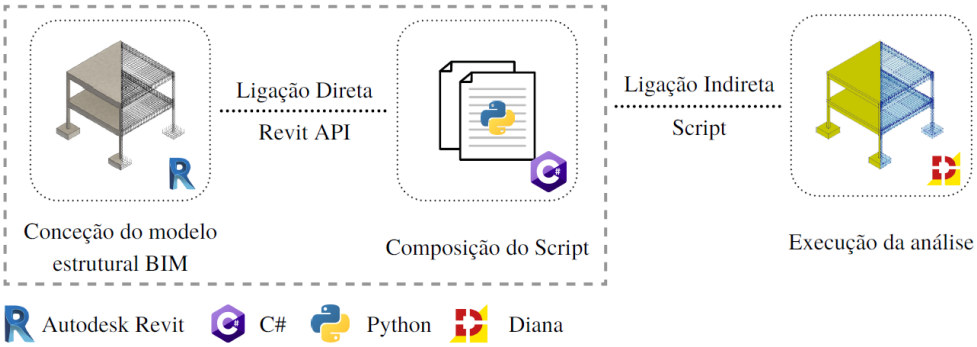


Figura 1
Processo de transferência de informação.

2.1. Ferramenta de interoperabilidade

A caracterização da análise tem início na definição de um conjunto de parâmetros, nomeadamente o modelo de análise estrutural; a dimensão do modelo tridimensional; o tipo e a ordem de interpolação dos elementos da malha (elementos quadriláteros baseados na interpolação linear); e a estipulação de unidades. Uma vez que se pretende que os parâmetros enumerados na frase anterior sejam sempre os mesmos em todas as análises (pré-definição da ferramenta), não se incorpora a respetiva definição no modelo BIM, sendo introduzidos pela ferramenta de interoperabilidade de forma implícita (alterável ao nível do código, se considerado necessário).

Na reprodução da geometria, apenas são considerados elementos estruturais. O utilizador deve assegurar a conformidade entre a geometria e as fases de construção estipuladas (Figura 2). Como exemplo, na conceção de pilares, estes não devem estender-se até à cota da superfície do piso, mas sim até à correspondente à sua betonagem.

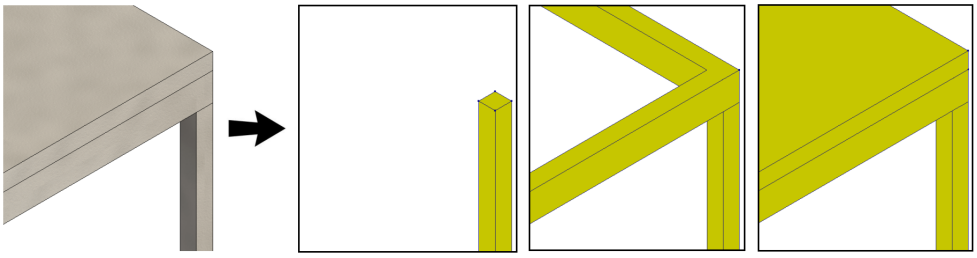


Figura 2
Conceção da geometria em conformidade com o faseamento da construção.

Para cada elemento, a ferramenta reúne a informação geométrica necessária para a composição de um conjunto de comandos, que visam uma reprodução geométrica de acordo com o conceito Boundary Representation (B-Rep). A representação consiste na modelação de um sólido através dos seus limites, nomeadamente, faces, arestas e vértices. Este método permite a reprodução de geometrias complexas, no entanto, é um processo que origina um grande número de comandos e, consequentemente, um maior tempo de processamento. Para um aumento de eficiência, no caso exclusivo de geometrias simples, tais como cubos ou paralelepípedos, é possível a sua reprodução através de uma única operação, de acordo com processos de Constructive Solid Geometry (CSG). No caso das armaduras, estas são reproduzidas através de elementos lineares retilíneos.

Para a definição do peso próprio de elementos estruturais, a ferramenta define uma carga para o elemento geométrico reproduzido no modelo de análise, cujo valor deriva do peso volúmico presente no material, definido pelo utilizador. No caso de elementos não estruturais, a sua geometria não é representada no modelo de análise, então a ferramenta reproduz uma carga definida no espaço correspondente ao elemento. Para paredes exteriores não estruturais, o valor de carga deriva do peso volúmico definido para a camada, ou camadas constituintes, e da presença de aberturas ou variações de altura. No caso de paredes interiores não estruturais ligeiras, o seu peso é considerado, de forma indireta, como um acréscimo aplicado à sobrecarga [10], definido pelo utilizador. Cargas associadas às sobrecargas e aos revestimentos de lajes são definidas mediante a atribuição dos respetivos valores a identificadores de ambientes (Figura 3), que consistem em espaços delimitados por elementos como paredes. A ferramenta projeta este espaço no modelo de análise e define uma carga distribuída. Com a identificação da categoria associada a cada sobrecarga, são automaticamente aplicados coeficientes de combinação, para as combinações de Estado Limite de Utilização, de acordo com o Eurocódigo 0 [11].

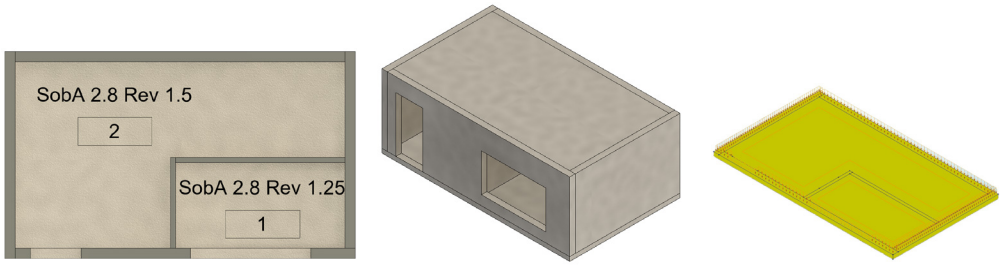
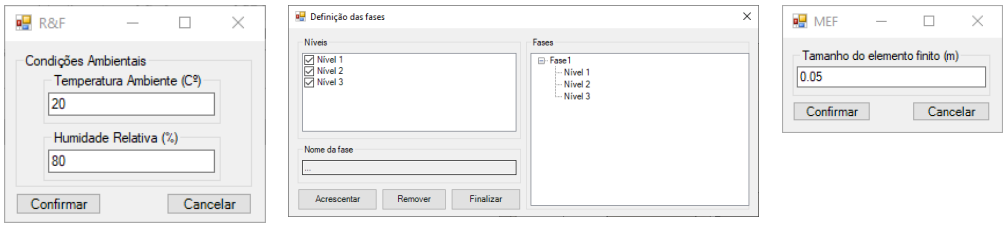


Figura 3
Reprodução da carga referente a elementos não estruturais e sobrecargas.

Para a reprodução das condições de apoio, implementou-se apenas o caso de fundação direta. No modelo de análise, a ferramenta define uma restrição ao deslocamento vertical através de uma interface de fronteira elástica, que visa a simulação da deformabilidade do terreno. A restrição ao deslocamento horizontal é efetuada mediante a atribuição de um parâmetro de família às fundações, com a especificação dos eixos a restringir, posteriormente aplicada pela ferramenta.

Para a definição de leis constitutivas dos materiais, apenas é necessário especificar a classe de resistência do betão e o valor de tensão de cedência do aço, nos materiais atribuídos aos respetivos elementos estruturais. Complementarmente, são solicitados ao utilizador os parâmetros necessários para a contabilização da retração e fluência (Figura 4.a). No caso do betão, a ferramenta comunica o valor da classe de resistência ao Diana e é automaticamente definida uma lei constitutiva de acordo com o fib Model Code [12]. Para o aço, através do valor de tensão de cedência é definida uma curva de tensão-extensão de acordo com o Eurocódigo 2 [10] e um modelo de tensão de aderência-deslizamento de acordo com o fib Model Code [12].

A análise inclui a simulação simplificada do processo construtivo. Para este fim, o utilizador deve definir fases de construção no Revit. Com o recurso a uma janela (Figura 4.b), é solicitada uma distribuição de níveis por cada uma das fases. A ferramenta interpreta os níveis como os limites do processo de betonagem, o final de cada fase como o momento de remoção de prumos e o fim da última fase como o momento de aplicação dos revestimentos. Após o processo construtivo, é executada a simulação da fase de utilização, para a qual pode ser consultado um exemplo na secção 3 do artigo. É também solicitado o tamanho de elemento finito desejado (Figura 4.c), como regra, é sugerido um valor correspondente a um quarto da dimensão mais pequena do menor elemento de betão. Por fim, são compostos os comandos necessários para a definição de incrementos de tempo, processos iterativos e normas de convergência, que seguem uma configuração predefinida na ferramenta.



a) b) c)

Figura 4
Solicitação de informação mediante janelas.

2.2. Exemplos de aplicação

Estabelecida a metodologia de interoperabilidade, é agora apresentado um exemplo de aplicação, que visa demonstrar o grau de complexidade admitido pela ferramenta desenvolvida. É possível comprovar a capacidade para a inclusão de geometrias complexas, tais como capitéis troncocónicos, escadas, lajes de piso com geometria irregular e paredes com aberturas.

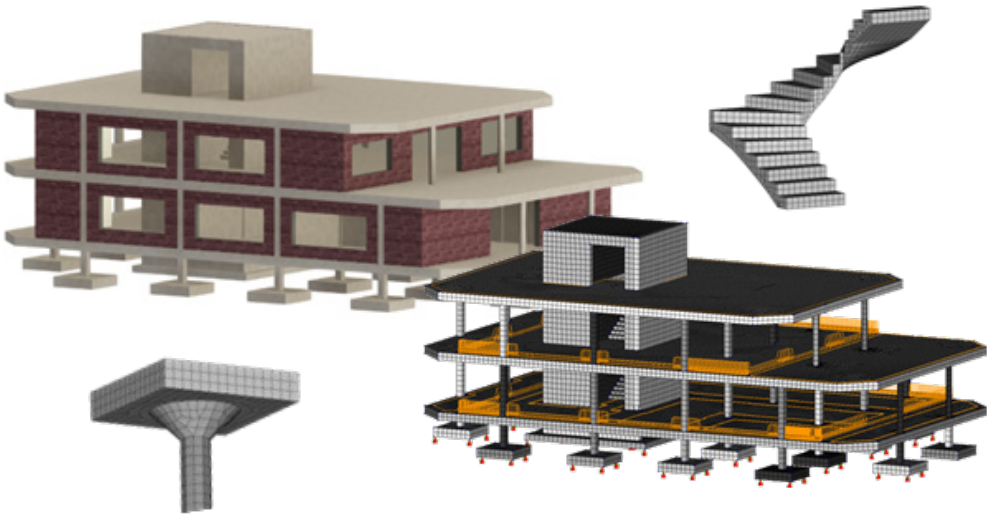


Figura 5
Exemplo de aplicação 1. Destaque de pormenores.

Como segundo exemplo e caso de estudo da análise estrutural, é considerado um pequeno edifício de betão armado (Figura 6), com dois pisos de 3 m de altura e pilares distanciados de 6.5 m. Ambas as lajes têm espessura de 22 cm, as vigas têm secção transversal de 0.22×0.66 [m^2] e os pilares tem secção transversal de 0.22×0.22 [m^2]. O betão é da classe de resistência C25/30 e a armadura da classe A400NR. O dimensionamento foi executado com base no Eurocódigo 2 [10].

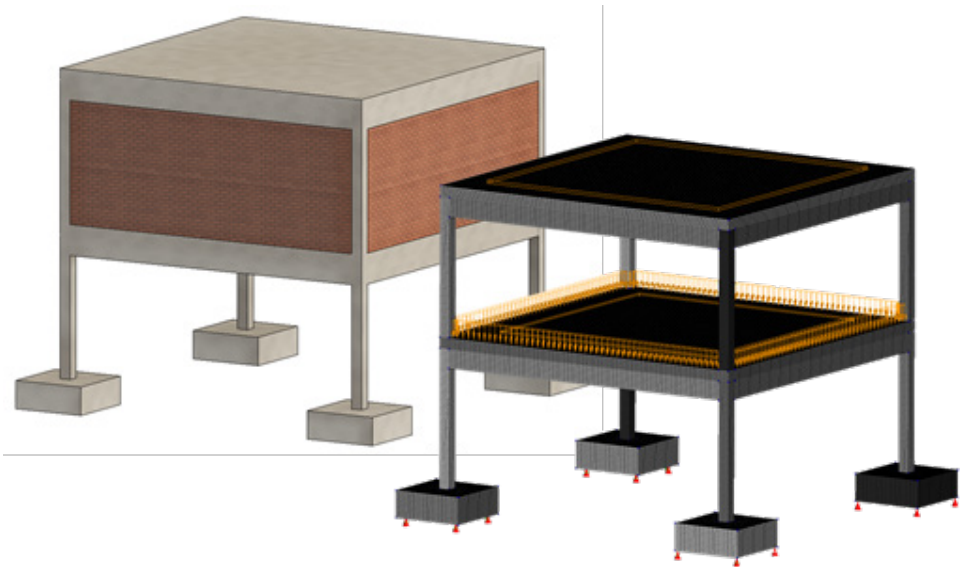


Figura 6
Exemplo de aplicação 2. Caso de estudo da análise não linear.

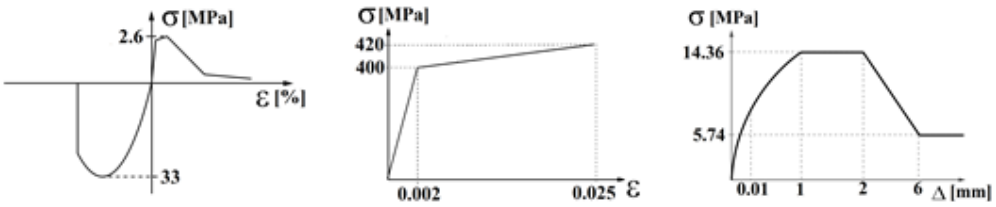
3. Análise estrutural não-linear

A malha dos elementos finitos de betão é composta por elementos cúbicos baseados na interpolação linear, com dimensões máximas de 50×50 [mm^2] (Tabela 1). Para uma descrição dos tipos de elementos finitos, o leitor é remetido para o manual do Diana [13].

	Número de Elementos	Tipo de elementos
Viga	4032	HX24L
Pilar	896	HX24L
Fundação	9184	HX24L, TP18L, PY15L e TE12l
Laje	75401	HX24L, TP18L, PY15L e TE12l
Interface elástica	840	Q24IF

Tabela 1
Número de elementos finitos usados no modelo por tipologia de elemento estrutural.

A Figura 7 apresenta as leis constituitivas geradas pela ferramenta para um betão definido com uma classe de resistência C25/30 e um aço com uma tensão de cedência de 400 MPa. A caracterização do modelo material do betão, de acordo com *fib Model Code* [12], contempla um modelo de fendas rotativas e contabiliza os efeitos de retração e fluência. É definido um módulo de Young de 32 GPa, um coeficiente de poisson de 0.2, uma densidade de 2.35 T/m^3 e uma energia de fratura de 0.14 kN/m. Para a definição dos efeitos da retração e fluência, são consideradas uma temperatura de 20ºC e uma humidade relativa de 80% para o ambiente. Na caracterização do aço, são considerados os fenómenos de endurecimento do aço, através de um modelo de Von Mises, e de *Bond-Slip*, de acordo com o *fib Model Code* [12]. É definido um módulo de Young de 200 GPa, um coeficiente de poisson de 0.3 e uma densidade de 7.85 T/m^3.



a) b) c)

Figura 7
Caracterização do betão: a) diagrama tensão-extensão (adaptado do fib Model Code [12]). Caracterização do aço: b) diagrama tensão-extensão (adaptado do Eurocódigo 2 [10]); c) diagrama tensão de aderência-deslizamento (adaptado do fib Model Code [12]).

A análise tem início na simulação simplificada do processo construtivo (Figura 8). A betonagem é simulada através da introdução sequencial dos elementos estruturais. Para o caso de estudo, foi adotada a simplificação em que a betonagem dos pilares e vigas é realizada em simultâneo. É adotado um tempo mínimo de cura de 14 dias para lajes e de 7 dias para os restantes elementos. A remoção de prumos e a aplicação dos revestimentos são simuladas através da introdução gradual das respetivas cargas, com durações de 1 e 28 dias, respetivamente. Finalizada a simulação do processo construtivo, tem início a fase de utilização, que consiste na introdução das sobrecargas e na variação da sua magnitude (Figura 8). Inicialmente é aplicada a

combinação característica, seguida de uma diminuição da magnitude até à combinação quase-permanente. É então aplicado um conjunto de incrementos de tempo até um período total de cinquenta anos (18262 dias). A análise termina com um último aumento de magnitude até à combinação característica. Não se pretende simular a evolução real do valor da sobrecarga ao longo do tempo, mas somente obter tensões e deformações para as combinações de ações regulamentares, antes e durante o desenvolvimento das deformações diferidas do betão.

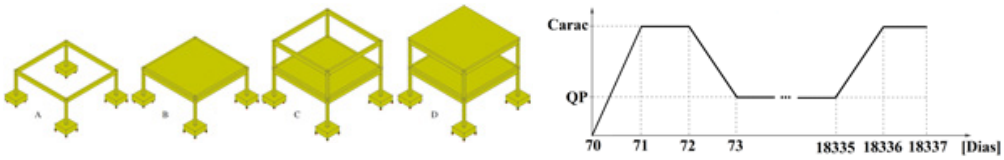
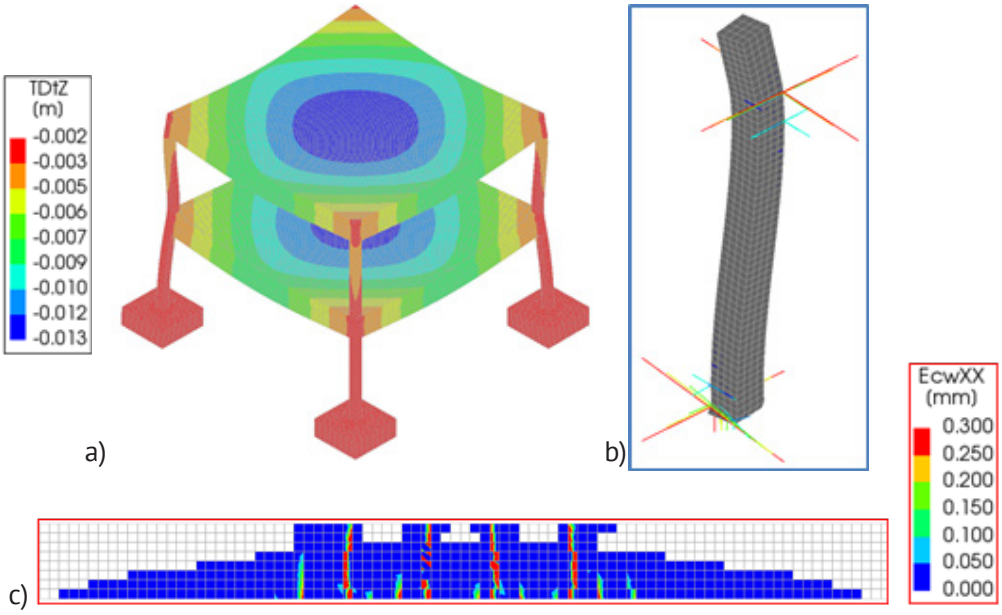


Figura 8
Faseamento do processo construtivo. Evolução das sobrecargas.

A avaliação do desempenho estrutural, segundo os critérios de Estado Limite de Utilização, consiste no cumprimento de limites referentes a deslocamentos, abertura de fendas e tensões. Na figura 9 são apresentados os resultados necessários para esta avaliação, correspondentes ao 70º dia, o final do processo construtivo. A análise até esse instante, envolvendo 94 incrementos de tempo, durou 16 horas, usando um processador Intel® Core™ i7-8700 CPU @ 3.20 GHz, 32GB de RAM e um conjunto de ficheiros com o tamanho de 9.82 GB. Constatou-se a necessidade de alterar entre diferentes métodos iterativos, nomeadamente os métodos de Newton-Raphson, regular e modificado, e de Secant (Quasi-Newton). Foi utilizada a norma de convergência de energia, com um erro admissível de 0.0001. No caso das fendas, a sua representação pode ser feita através do valor correspondente à sua abertura (Figura 9.b), com a representação da extensão de fissuração em cada ponto, ou através de um vetor paralelo ao plano da fenda (Figura 9.c).



d)

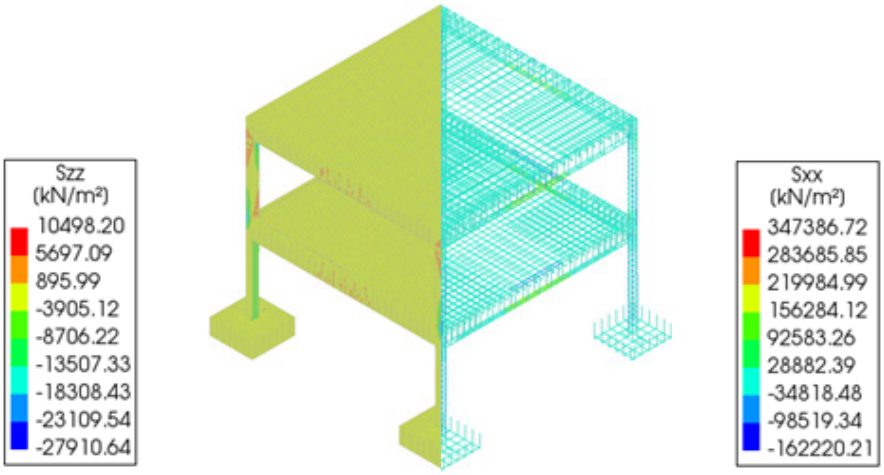


Figura 9
Resultados da análise estrutural:
a) representação de deslocamentos (TDtZ);
b) representação de fendas através da abertura (EcwXX);
c) vetor paralelo ao plano da fenda;
d) Representação de tensões: betão (esquerda); armaduras (direita).

Nesta fase do trabalho, é essencial a validação dos resultados obtidos mediante a comparação com resultados provenientes de métodos simplificados. Para a validação dos deslocamentos, é feita a comparação com deslocamentos resultantes de uma análise linear, através do *Autodesk Robot*, onde é constatada uma ordem de grandeza similar. A diferença entre os valores é justificada pela inclusão dos fenómenos de retração, fluência e fissuração, que agravam os deslocamentos obtidos pela análise não linear. As diferenças observadas são, no entanto, pouco relevantes porque o instante em estudo corresponde aos 70 dias, incluindo, portanto, uma pequena porção das deformações diferidas. Na abertura de fendas, a comparação é feita segundo o método presente no Eurocódigo 2 [11], através do qual resulta uma abertura de 0.17 mm, face aos 0.3 mm, obtidos através do Diana.

Tabela 2
Comparação de deslocamentos.

	Análise não linear (cm)	Análise linear (cm)
Laje (1º Piso)	1.28	1.0
Viga (1º Piso)	0.88	0.8
Laje (2º Piso)	1.25	1.0
Viga (2º Piso)	0.84	0.8

4. Conclusão

A metodologia descrita e demonstrada neste artigo visa promover e viabilizar o acesso à análise estrutural não linear em serviço, em edifícios, no contexto de projeto de estruturas, ou de análise de comportamento estrutural. É considerado que este objetivo é satisfeito através do desenvolvimento de uma metodologia baseada na informação presente em modelos estruturais de plataforma BIM proprietária, mediante uma ferramenta de interoperabilidade em C#, capaz de reunir e adaptar a informação presente no modelo estrutural, para a composição de um script em Python capaz de definir, na sua totalidade, a análise pretendida no software de análise estrutural Diana.

A análise possibilitada reproduz, com sucesso, todos os resultados necessários para esta avaliação, com informação referente a tensões, fendas e deformações. Este trabalho ainda se encontra em processo de refinamento, particularmente no que diz respeito à procura de leis constitutivas simplificadas que melhorem os processos de convergência, sem penalizar a exatidão dos resultados de forma significativa. Por outro lado, é importante assinalar o peso enorme do modelo de cálculo em termos computacionais que requererá o recurso a computação de alto desempenho para obtenção de resultados em tempo útil quando este tipo de abordagem for tentado em edifícios reais com dezenas (ou centenas) de troços de pilar, e laje.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de I & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020, e a unidade de investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções, com a referência UIDB/04708/2020.

Referências

[1] J. Ferreira, "Ensaios virtuais à rotura em estruturas de betão armado com base em modelo BIM", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2018.

[2] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. (2008, Jan. 29). *Decreto-Lei n.º 18/2008*. [Online]. https://data.dre.pt/eli/dec-lei/18/2008/p/cons/20210721/pt/html

[3] R. Carneiro, "Inovação na revisão de projetos – Algumas sugestões", Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

[4] SGS Portugal. "Controlo da qualidade na construção – Uma vantagem competitiva". https://www.sgs.pt/pt-pt/news/2017/06/controlo-da-construcao-na--qualidade. (consultado em Dez. 17, 2021)

[5] F. Muñoz-La Rivera, J. Vielma, R. Herrera and J. Carvallo, "Methodology for Building Information Modeling (BIM) Implementation in Structural Engineering Companies (SECs)", Advances in Civil Engineering, vol. 2019, pp. 1-16, 2019. doi: 10.1155/2019/8452461.

[6] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee and P. Teicholz, "BIM for Architects and Engineers", in *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers*, Third edti Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018.

[7] A. Hasan, A. Torky and Y. Rashed, "Geometrically accurate structural analysis models in BIM-centered software", Automation in Construction, vol. 104, pp. 299-321, 2019. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.022.

[8] G. Walker, S. Abhyankar and D. Gration, "Non-linear analysis of concrete structures: a practical design approach to Eurocode", Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering and Computational Mechanics, vol. 170, no. 4, pp. 135-145, 2017. doi: 10.1680/jencm.17.00002.

[9] A. de Boer, "Design strategy structural concrete in 3D focusing on uniform force results and sequential analysis", Tese de Doutoramento, Delft University of Technology, Delft, Holanda, 2009.

[10] Comité Europeu de Normalização, NP EN 1992-1-1 2010, Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão: Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios. Portugal: IPQ, 2010.

[11] Comité Europeu de Normalização, NP EN 1990 2009, Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas. Portugal: IPQ, 2009.

[12] fib Model Code for Concrete Structures 2010, Ernst & Sohn publishing company, 2013, ISBN: 978-3-433-03061-5.

[13] DIANA FEA. "User's Manual". https://dianafea.com/manuals/d104/Diana.html (consultado em Dez. 17, 2021)

Automatização da geração de armaduras e organização de quadro de pilares em ambiente BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.37

Fernando Miranda[1], **Ruben Rodrigues**[1]

[1] *A400 Consultores e Projetistas de Engenharia, Porto*

Resumo

A crescente necessidade de criar modelos BIM de estruturas mais completos torna premente a integração de armaduras nos modelos de forma a controlar as quantidades de aço empregues e incrementar o nível de detalhe da solução.

As ferramentas nativas que os softwares existentes (Revit, Tekla Structures, etc) apresentam para a modelação de armaduras, traduzem-se em soluções generalistas que exigem processos manuais mais ou menos demorados. As possibilidades de expansão dessas funcionalidades permitem modelações mais complexas e avançadas. No entanto, apesar da disseminação destes programas nenhum deles se adapta ao workflow específico da empresa pois ainda exigem etapas intermédias e períodos de execução elevados para serem viáveis no contexto atual do projeto.

Para responder a esses constrangimentos (tempo/qualidade) a equipa de I&D desenvolveu uma aplicação de geração semiautomática de armaduras em pilares que permitiu responder eficazmente a todos estes constrangimentos.

O *Columns Rebar* é um "addin" para Revit que permite a interoperabilidade entre o modelo Revit e o modelo estrutural (Robot, Sap2000 ou Etabs) a partir das suas API's, garantindo a sincronização entre os elementos geométricos dos modelos e as armaduras definidas na análise estrutural. Para além disso recorre a vários automatismos para a definição de zonas de reforço dos estribos, sobreposições, extensões e dobras de varões longitudinais.

Neste processo é possível, "usando parâmetros normalizados" gerar todas as armaduras do modelo, a numeração de todos os pilares, consolidação dos tipos de soluções e a execução do respetivo quadro de pilares, recorrendo apenas a algumas predefinições.

1. Introdução

A maturidade na utilização de ferramentas e o reconhecimento das vantagens BIM transversal a toda a empresa torna constante a necessidade de migração dos processos CAD instalados para processos mais eficientes assentes em metodologias BIM. Contudo, alguns desses processos encontram-se ainda muito dependentes das formas de trabalho nas fases posteriores ao projeto, como nomeadamente a necessidade de entrega dos elementos de projeto em formato editável 2D para a sua utilização em fase de execução. Esta necessidade obriga a uma organização dos elementos de projeto que é necessária para a fase de construção com o intuito de facilitar a interpretação do projeto, auxiliar medições e definir faseamentos. No departamento de estruturas a organização destes elementos, como a disposição dos quadros de sapatas e pilares, pormenorização de vigas e outros elementos estruturais são atualmente assentes em ferramentas CAD altamente produtivas, mais ou menos automáticas desenvolvidas e adaptadas ao fluxo interno do departamento. Estas ferramentas dotam o projetista/desenhador de um maior conforto e confiança na produção destes elementos o que consequentemente aumenta a inércia na introdução de novas ferramentas e processos que não sejam igualmente eficientes.

Na fase de projeto o dimensionamento dos elementos estruturais é usualmente efetuado com recurso a modelos de cálculo para simulação da estrutura e posteriormente dimensionado num software interno existente (*FlexDesv*) onde constam as várias propriedades necessárias para caraterização da solução (materiais, geometria, armaduras, etc). Apesar de existir uma comunicação entre o modelo de cálculo e o *FlexDesv* continua a existir um vazio na ligação entre o software de dimensionamento e a produção de peças desenhadas.

A introdução de ferramentas e processos BIM, no departamento de estruturas, em paralelo com o processo CAD existente, evolui para o estado atual em que o processo produtivo ocorre numa diversificação de ferramentas que obrigam a uma atenção redobrada para a compatibilização da informação dispersa. Consequentemente, esta diversificação de informação potencia a ocorrência de erros ou comunicação errada do projeto de estabilidade.

A fase de quantificação dos materiais é também afetada pelos processos assentes em CAD. A quantificação dos materiais, por exemplo o aço, obriga a um processo manual intermédio de introdução de parâmetros geométricos para quantificar aproximadamente as quantidades. Este fluxo limita o processo a uma constante revisão e compatibilização sempre que ocorrem ligeiras alterações ao projeto de arquitetura ou até mesmo revisões do projeto de estabilidade.

Assim, no seguinte documento acompanha-se a evolução de um instrumento que cresce da necessidade de desenvolver uma ferramenta que potencie a vantagem da plataforma BIM para auxílio da construção de mapas de quantidades mais rigorosos, a partir da geração automática da geometria 3D das armaduras e ao mesmo tempo automatizar a numeração e a execução do quadro de pilares, dispensando

posteriores intervenções manuais no processo, diminuindo drasticamente o tempo de execução e a possibilidade de introdução de erros. Esta solução é uma extensão das atividades de dimensionamento estrutural existentes em que todos os dados da ferramenta interna de dimensionamento (*FlexDesv*) são reutilizados para criação das armaduras no software BIM.

2. Estrutura da solução digital

A ferramenta desenvolvida, *Columns Rebar*, tinha como necessidade ser dotada de uma capacidade em que a modelação final das armaduras, numeração dos pilares e a criação do respetivo quadro de pilares fosse executada de forma automática a partir de dados consolidados na aplicação desenvolvida. Esses dados consolidados foram concentrados em várias etapas, nomeadamente: Importação do modelo, mapeamento das barras, compatibilização de modelos, validação, preenchimento de parâmetros, geração de armaduras e a numeração e organização de quadro de pilares.

A operação precursora ao *Columns Rebar* consiste na aplicação *FlexDesv,* de auxílio ao dimensionamento estrutural, desenvolvida internamente, que permite a criação de secções transversais e a verificação de segurança à encurvadura segundo EC2 com validação de capacidades resistentes em flexão desviada. Esta aplicação permite a interação com os vários programas de cálculo de estruturas (Etabs/Robot/Sap2000) para aquisição de esforços, geometrias, entre outros.

É no *FlexDesv* que o projetista define as características das soluções de armaduras preconizadas para cada um dos pilares da estrutura e cria uma lista com o mapeamento unívoco entre cada uma das barras e a sua secção. Esta relação barra/secções transversal e armaduras é guardada num ficheiro, permitindo que seja importado no *Columns Rebars* e permita a geração das armaduras no modelo BIM e/ou consultada/editada no decurso do projeto.

Posteriormente à fase de cálculo, no *Columns Rebar,* há necessidade de efetuar um mapeamento entre os elementos geométricos Revit/modelo de cálculo que, através de uma sobreposição dos elementos, permitirá à ferramenta verificar eventuais divergências entre a geometria dos dois modelos garantindo uma uniformização geométrica entre eles. Esta validação é de elevada relevância e dependendo do rigor dos modelos de cálculo e Revit podem ser variadas as incompatibilidades, tais como secções incoerentes, comprimento de barras diferentes, falta de elementos estruturais, eixos de barras com orientações contraditórias, entre outras, alertando o projetista que a sua intervenção é necessária.

Após validação geométrica, é necessário definir um conjunto de parâmetros adicionais como os comprimentos de sobreposição de armaduras ou comprimento de incursão das barras nas lajes, que podem ser preenchidos automaticamente com base no EC2 ou criados/modificados individualmente com as ferramentas disponíveis na aplicação.

Com o preenchimento desta informação estarão reunidas as condições necessárias para criar automaticamente no modelo todas as armaduras preconizadas no dimensionamento. Estas poderão ser geradas automaticamente em todos os elementos definidos ou individualmente, podendo ser eventualmente atualizadas em caso de alteração ao projeto.

Todos os parâmetros de ligação/transformação entre o modelo estrutural e o Revit são guardados num ficheiro externo que aliado à interação bidirecional entre a aplicação, modelos de cálculo e a plataforma Revit possibilita aceder à informação dos modelos assim como fazer alterações nos mesmos de forma interativa e em tempo real. Na figura seguinte está representado o fluxograma de interação entre a aplicação, o modelo de Revit e o modelo de análise estrutural (Etabs/Robot/Sap2000).

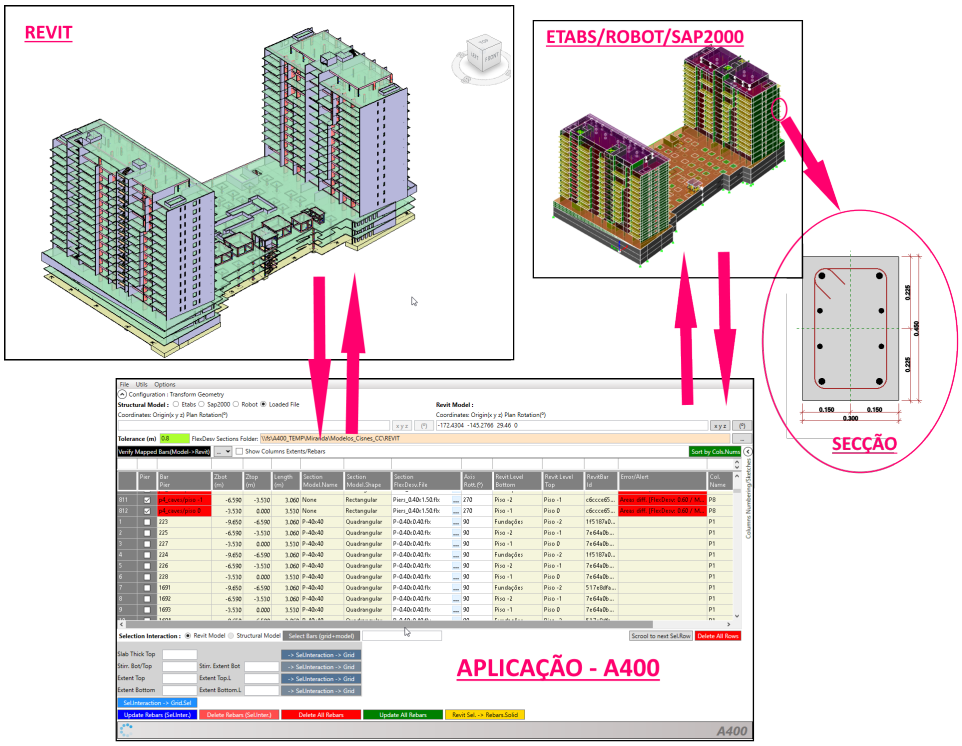


Figura 1
Workflow.

A comunicação bidirecional entre e os parâmetros guardados permitem dispensar a necessidade de manter as armaduras no modelo Revit durante o processo colaborativo entre as várias especialidades, reduzindo deste modo a dimensão do modelo e consequentemente promove a otimização da produtividade das restantes disciplinas que incorporam o modelo de estruturas sem necessidade de consultar a solução e localização das armaduras dos elementos de betão armado.

Neste processo de representação geométrica das armaduras era importante que os elementos principais (pilares), alojassem também informação não gráfica relevante para auxílio à construção dos mapas de quantidades. Como tal, durante o processo, são criados três parâmetros distintos para o efeito. A cada pilar é associada a informação relativo ao valor total das quantidades de armaduras longitudinais (kg), o

valor total das quantidades de armaduras transversais (kg) e a data da sua criação, ver Figura 2. São estes parâmetros que alimentam as tabelas/mapas de medições usados na fase de medição do projeto. Com este procedimento e após a sua criação, podemos remover definitivamente a representação gráfica 3D das armaduras no modelo que as quantidades associadas às mesmas continuam inalteráveis nos parâmetros do elemento principal e respetivos *schedules*.

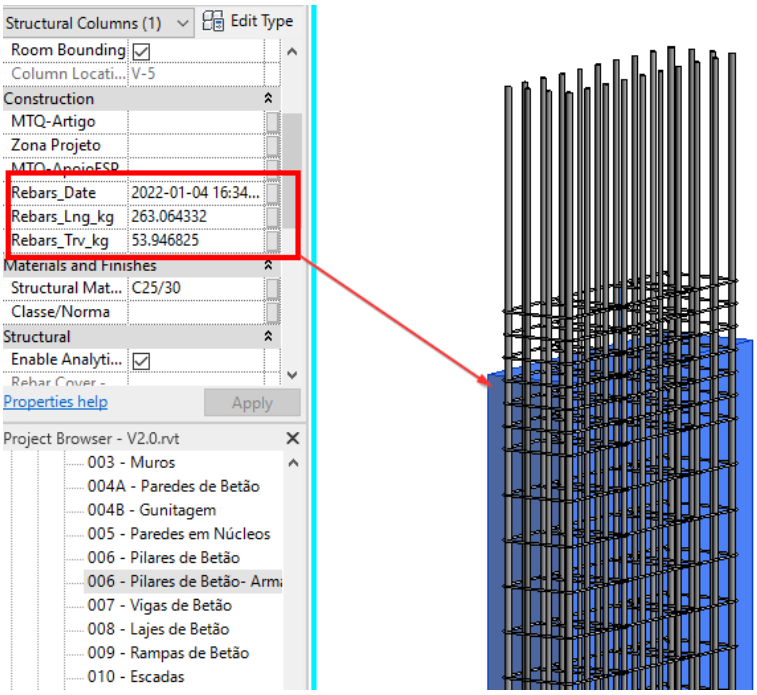


Figura 2
Parâmetros com os valores das quantidades de armaduras por barra e data de criação.

As várias etapas, desde a correlação de modelos ao mapa de pilares são descritas nos capítulos seguintes.

2.1. Importação de um modelo

A primeira operação a ser executada no *Columns Rebar* consiste na importação de informação do modelo de cálculo em análise. A importação desta informação poderá ser concretizada diretamente através da seleção das barras de um modelo de cálculo em análise ou a partir de barras de pilares selecionadas no Revit. Estas podem igualmente ser importadas a partir de um ficheiro existente que tenha sido gravado na fase de dimensionamento estrutural ou então um ficheiro editado previamente.

A partir dos dados provenientes do modelo de cálculo estrutural (posicionamento 3D das barras, eixos locais e ficheiro geométrico da secção) em conjunto com a modelação estrutural em Revit, a aplicação desenvolvida assenta no mapeamento unívoco das barras e suas secções em conjunto com uma matriz de transformação entre os dois modelos, garantindo coerência geométrica a partir da sua sobreposição.

É através da matriz de transformação que são registadas e alertadas possíveis divergências que existam entre modelos (ex: secções com geometrias incoerentes, falta de elementos estruturais, posicionamento fora da tolerância, barras com eixos locais orientados de forma incorreta, etc.) permitindo nesta fase crítica a correção de qualquer erro detetado antes de avançar com o processo. Na figura seguinte ilustra-se a importação de um ficheiro correspondente a um mapeamento previamente realizado alertando, a vermelho, para diferenças entre as secções transversais no Revit/ *FlexDesv*.

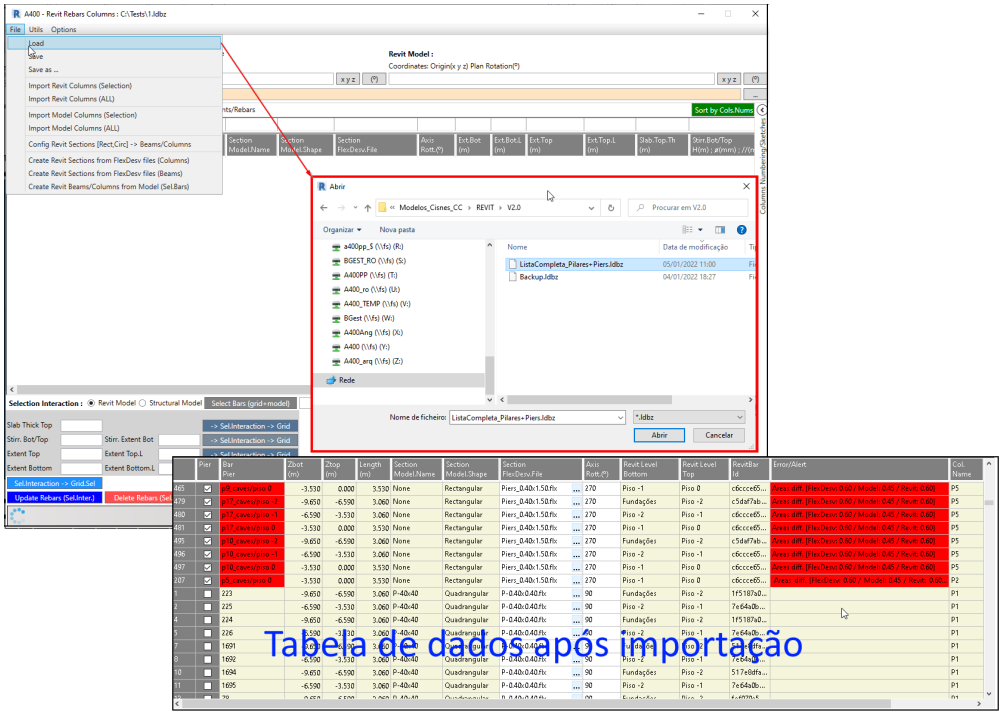


Figura 3
Importação de um ficheiro existente.

2.2. Parametrização da transformação de coordenadas entre modelos

A definição da transformação de coordenadas entre o modelo BIM e o modelo de cálculo é uma tarefa crucial, pois é a partir daqui que se relacionam os modelos Revit/Modelo de cálculo e se obtêm a validação e alertas de sincronização entre as barras dos modelos.

A obtenção destes dados pode ser feita a partir da seleção de um elemento conhecido nos dois modelos e daí a obtenção do seu vetor de translação. A alternativa, mais visual, consiste na seleção de todos os pilares de um piso no Revit e elementos correspondentes na tabela de dados (modelo de cálculo) e seguidamente usar a funcionalidade de projeção 2D de todos esses elementos para visualizar a sua localização projetada. Nesta projeção é possível fazer a medição das diferenças *botão (1)* e aplicar a transformação com o *botão (2)*, ver Figura 4.

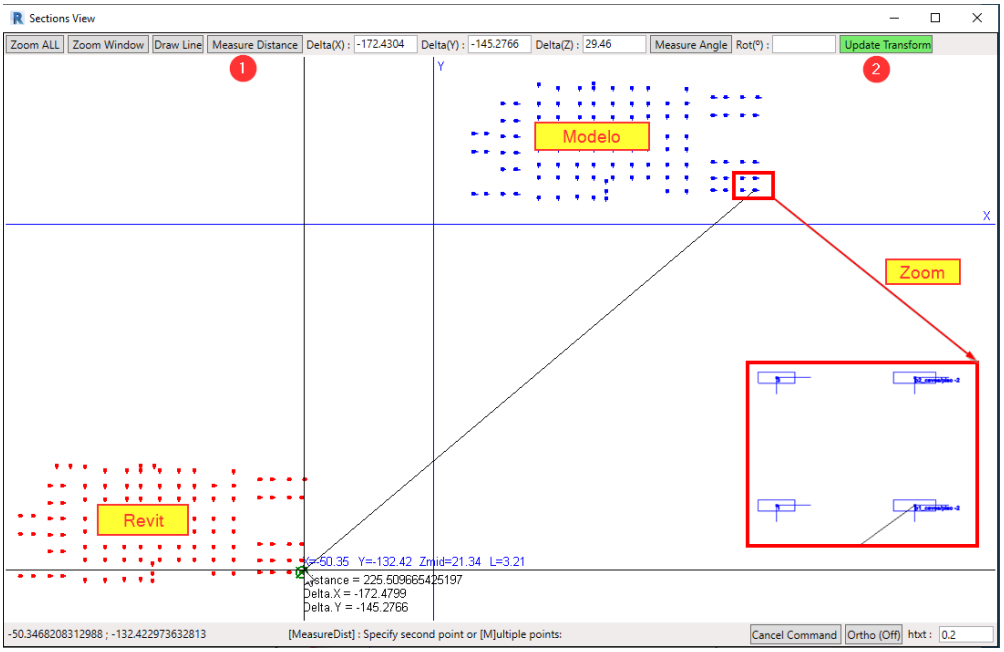


Figura 4
Projeção das barras (Revit+Modelo de cálculo) do piso da fundação sem transformação.

2.3. Obtenção e preenchimento de parâmetros na tabela de dados

As quantidades de aço e a posição real das armaduras de um pilar são variáveis que dependem de várias especificidades como as que se encontram explanadas na Figura 5. Assim, é importante conhecer a importância dos mesmos no preenchimento e avaliação correta dos seus valores para que o resultado final seja o mais fidedigno possível. No entanto, para os casos generalizados a ferramenta dispõe de instrumentos que admitem o cálculo da maioria desses parâmetros de forma automática, seguindo as disposições e regras vertidas no EC2 e de acordo com a geometria do modelo.

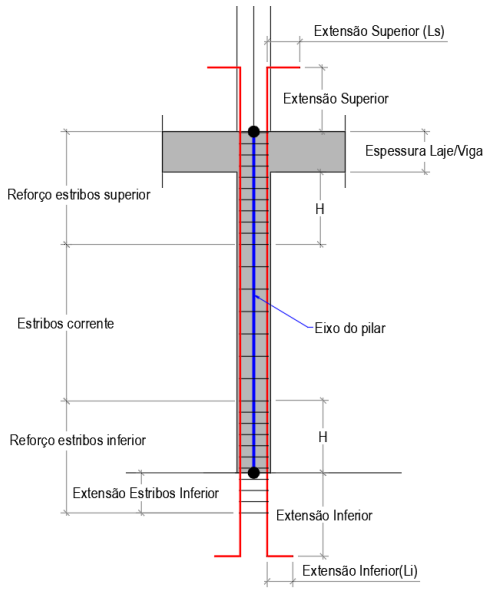


Figura 5
Esquema dos parâmetros de armaduras.

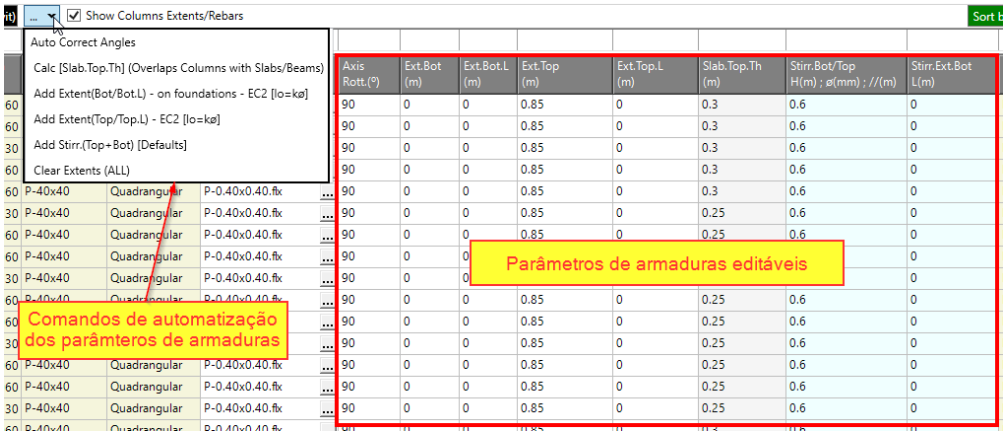


Figura 6
Colunas dos parâmetros de armaduras e comandos de automatização.

2.4. Geração das armaduras

Finalizada a definição de todos os dados, a geração de armaduras é a consequência última das etapas anteriores. Aqui, a ferramenta é capaz de recriar todas as armaduras do modelo de uma só vez, ou apenas elementos específicos (seleção no Revit ou seleção na tabela). Esta última opção é interativa e permite criar armaduras, por zonas do modelo, por piso ou à medida das necessidades do projeto (como atualização de algum pilar específico).

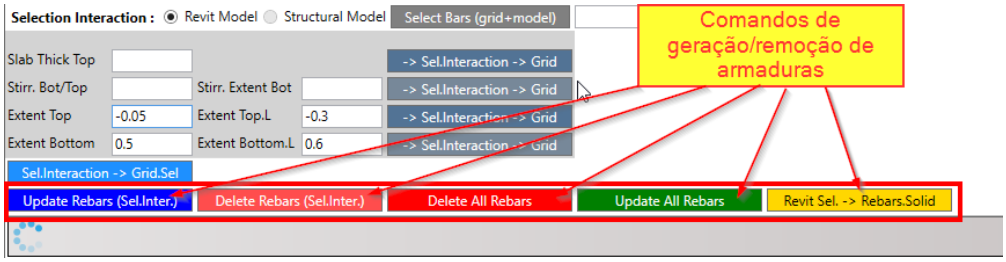


Figura 7
Comandos de geração/remoção de armaduras.

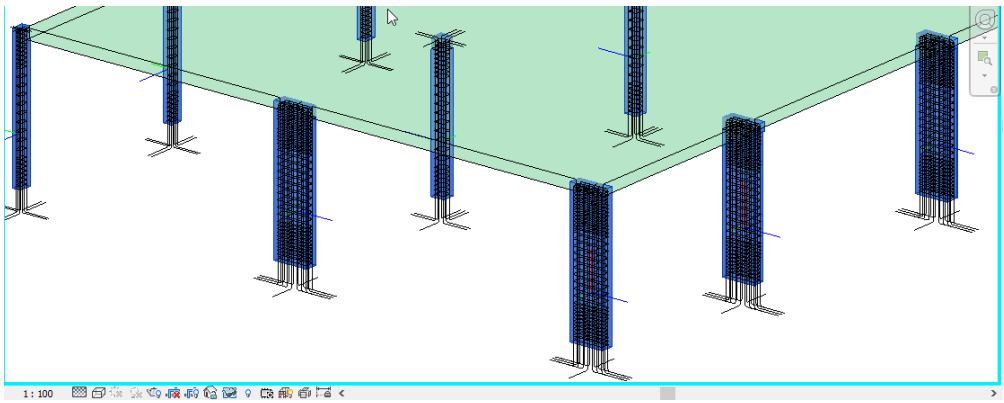


Figura 8
Resultado da execução do comando [Update Rebars (Sel.Inter.)].

Estas armaduras são geradas a partir das geometrias previamente definidas nas secções de cálculo (*Flexdesv*) em conjunto com os parâmetros aqui definidos (*Rebars Columns*) e modeladas/ajustadas a cada barra na sua posição final.

2.5. Numeração e organização do quadro de pilares

A numeração dos pilares é feita automaticamente a partir de um conjunto de pressupostos que consiste no seguinte:

– As barras são organizadas por grupos, cada grupo pertence a um mesmo alinhamento vertical (função da tolerância definida) com barras conectadas entre si, não podendo haver descontinuidades entre elas;

- Cada barra dentro do grupo é ordenada pela coordenada (Z) de forma ascendente. A partir daqui é calculada uma identidade por grupo que tem em conta para cada uma das suas barras os níveis (inferior e superior), a sua secção e também a orientação relativa das secções entre barras;
- Os grupos são organizados pelas suas identidades a partir das quais são atribuídas as suas numerações. O nome do pilar é constituído por um prefixo (em geral P) + número sequencial + sufixo opcional. Cada barra dentro de cada grupo terá o mesmo nome do seu grupo.

Note-se que a organização da numeração é feita de modo que as numerações mais baixas apareçam nos pisos inferiores e progredindo para os pisos superiores.

No final a numeração de todas as barras é guardada na aplicação e replicada para o Revit através do preenchimento do parâmetro *Mark*.

Após a primeira emissão, podemos bloquear os seus nomes para que nas emissões seguintes apenas os elementos modificados sejam renomeados.

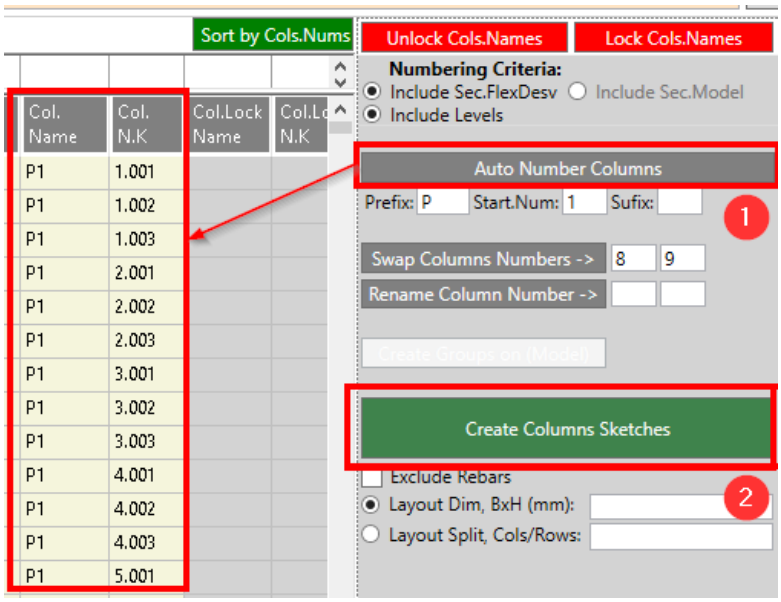


Figura 9
Execução de numeração dos pilares (1).

Para a execução do quadro de pilares, botão(2) da figura anterior, não é necessário que as armaduras 3D estejam criadas, pois a geometria das secções desenhadas no quadro é feita a partir dos ficheiros de secções gerados no dimensionamento estrutural. Este processo é feito ainda em função da numeração atribuída pelo programa e não é possível gerar o respetivo quadro sem antes passar pela numeração automática do mesmo, garantindo deste modo o cumprimento de todos os critérios de numeração e a coerência do quadro com a numeração inscrita nas barras dos pilares.

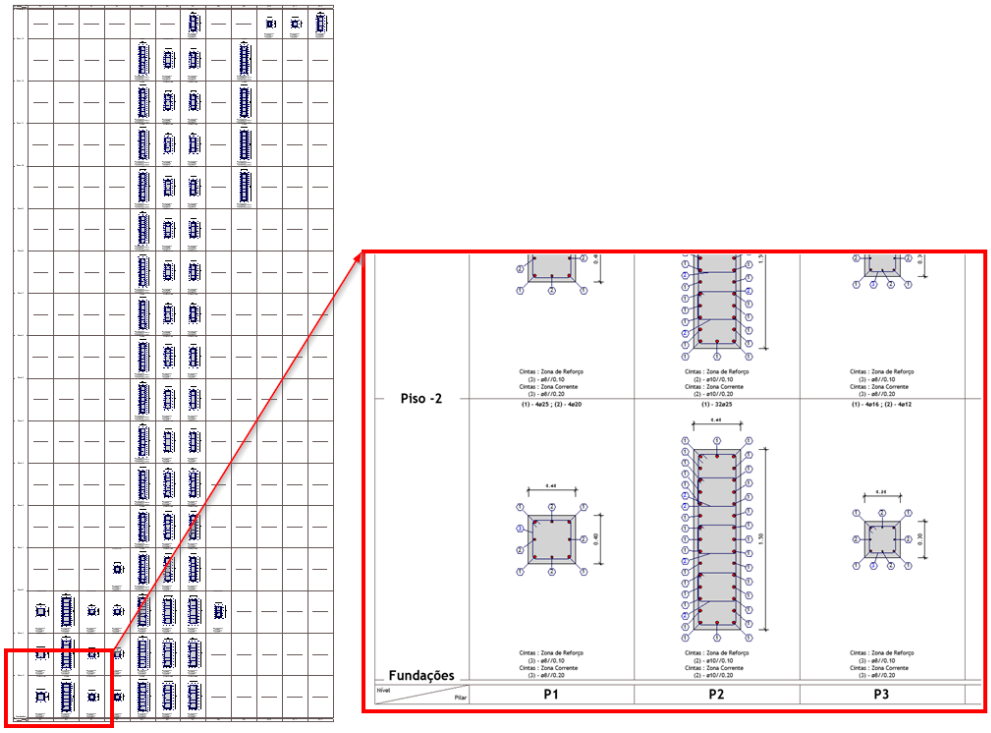


Figura 10
Quadro de pilares.

3. Conclusão

O presente artigo pretende demonstrar a continuidade do foco da empresa A400 na criação de ferramentas, como o *MTQ Generator*, *Schematics Q* e *Schematics MEP*, apresentadas em edições anteriores do ptBIM, que promovem a eliminação de tarefas repetitivas e na melhoria da gestão da informação. Surge então o *Columns Rebars* como ferramenta de apoio à disciplina de Estruturas, criando uma comunicação bidirecional entre os modelos BIM e de cálculo.

O *Columns Rebars*, conforme se depreende do exposto neste documento, permite atingir melhorias de qualidade e eficiência, uma vez que os procedimentos automatizados pela ferramenta eliminaram uma grande quantidade de tarefas manuais demoradas e propícias à introdução de erros no projeto. Esta permite a criação de armaduras 3D, totalizar a quantidade de aço, organizar e criar um quadro organizado de pilares em escassos segundos. Permite igualmente que alterações à solução de armaduras dos pilares sejam prontamente compatibilizadas com o modelo BIM recorrendo ao mapeamento realizado anteriormente.

O nível de eficiência da ferramenta transporta para a produção o reconhecimento que lhes permita abandonar ferramentas previamente enraizadas no seio da produção. Obtêm-se assim uma compatibilização constante entre os diversos elementos de projeto.

É de salientar que a tarefa de medição e compilação das armaduras dos pilares num projeto de média dimensão com alguma complexidade, poderia durar uma semana completa com um medidor a tempo inteiro, atualmente o mesmo resultado pode ser obtido numa questão de minutos e com um grau de precisão e confiança que não tem comparação.

Aplicação da metodologia BIM na monitorização sa segurança de barragens de aterro

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.38

Aline Heleno[1], **Miguel Azenha**[2],
Laura Caldeira[3], **Maria João Silva**[4]

[1] *Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, ID ORCID 0000-0002-3732-3458*

[2] *Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-1374-9427*

[3] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, ID ORCID 0000-0002-9164-2118*

[4] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, ID ORCID 0000-0002-3723-0948*

Resumo

A construção de barragens é fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades essenciais para as infraestruturas urbana e industriais. Existem registos históricos de roturas de barragens, sendo maioria as associadas a barragens de aterro. Dada a importância dessas estruturas e os impactos gerados pelo rompimento, os esforços desenvolvidos para o controlo da segurança de uma barragem afiguram-se como fundamentais. Existem ainda algumas barragens nas quais as medições da instrumentação são, ainda, realizadas de forma manual, sem recurso a processos integradores da informação. Neste sentido, a utilização de modelos BIM integrados em bases de dados, e apoiados por ferramentas específicas para sua análise, torna-se um procedimento essencial para a resolução de alguns problemas decorrentes do processo de análise da segurança de barragens.

O presente trabalho apresenta uma aplicação da metodologia BIM à monitorização da segurança de barragens de aterro, contribuindo para gestão integrada da informação indexada no seu contexto espacial a um modelo 3D. O trabalho desenvolvido apresenta os procedimentos para visualização tridimensional dos dados obtidos da instrumentação de uma barragem de aterro localizada em Portugal, estabelecendo a interoperabilidade entre os dados registados e uma ferramenta para análise dos mesmos. A metodologia é testada para um tipo particular de instrumentação, designadamente para as baterias de assentamento, permitindo a integração dos dados entre o modelo BIM, a base de dados e a respectiva ferramenta de análise. São apresentadas as principais conclusões.

1. Introdução

Os modelos subjacentes às metodologias Building Information Modelling (BIM) destacam-se por concentrar grande quantidade de informações relevantes [1,2], sendo portanto uma excelente ferramenta de gestão de informações sobre qualquer infraestrutura, como barragens. Têm sido desenvolvidos vários trabalhos com recurso à metodologia BIM para a análise dos dados de observação aplicada às diferentes fases da vida útil de barragens de betão [3–5], mas não se encontrou nenhuma aplicação em barragens de aterro na revisão bibliográfica encetada no contexto do presente artigo.

A construção de barragens está associada a diversas atividades sejam elas industriais e até de subsistência, com diferentes tipos usos, como: energia hidroelétrica, navegação, controlo de cheias, abastecimento de água, e contenção de resíduos da exploração mineira entre e outros [6].

No entanto, este tipo de estrutura pode causar enormes impactos ambientais, sociais e económicos durante as fases de construção, operação e desmantelamento, e ainda mais no caso de rotura, com potencial para resultar no alagamento de vastas áreas a jusante com perda de vidas humanas. Nos últimos 100 anos, milhares de pessoas morreram ou perderam suas propriedades, por causa do rompimento de barragens [7].

Dos tipos de barragens existentes a mais comum é a barragem de aterro, totalizando 77% de todas as barragens do mundo, sendo também a que registra mais acidentes [7–9].

Um estudo recente baseado numa base de dados de roturas/acidentes em barragens de resíduos mostrou que desde 1915, ocorreram 283 roturas, provocando 2300 mortos e vários impactos ambientais, sociais e económicos. Além disso, desde 2000 ocorreram aproximadamente 500 mortes por causa de roturas de barragens deste tipo. Também foram registadas roturas em barragens de diferentes usos, mostrando a importância de uma estratégia de monitorização integrada com o entendimento das melhores práticas geotécnicas [10].

Para evitar a rotura da barragem, é imprescindível estabelecer o respetivo controlo de segurança durante as fases de construção e operação como um processo permanente de monitorização e avaliação do comportamento, mediante a realização de inspeções visuais, campanhas de medição e análises de instrumentação [11,12]. Nesse sentido a possível concentração das informações numa base de dados indexada espacialmente com modelo BIM, permite a avaliação de diferentes tipos de dados fornecidos pela instrumentação, pelas inspeções visuais e eventuais ensaios de laboratório e de campo realizados na barragem de forma integrada e automatizada. Deste modo, é possível, de forma mais fácil do que com metodologias convencionais, identificar comportamentos anómalos, diagnosticar a sua causa, prever a sua evolução e, se necessário, remediá-los para garantir a segurança da barragem.

A aplicação da metodologia BIM na monitorização de barragens possibilita a solução de diferentes tipos de problemas identificados durante os procedimentos de aquisição, organização e análise dos dados de instrumentação, sendo as principais oportunidades de melhoria identificadas as seguintes:

- Processos manuais de medição da instrumentação instalada, em alguns casos utilizando formulários em papel. Este procedimento pode gerar além de erros de digitação, tempo excessivo entre a medição dos parâmetros em campo e a digitalização das informações. Uma solução para este problema está na medição em tempo real utilizando dispositivos/conexões '*Internet of Things*' (IoT), conectados a base de dados, com objetivo de reduzir o tempo de envio de dados ao responsável técnico pela análise da instrumentação.
- Existência de diversos ficheiros e/ou folhas de cálculo para análise da instrumentação, não permitindo a análise integrada dos dados. Uma solução é o uso de uma base de dados para integrar todos os dados de instrumentação e sua conexão com ferramentas que auxiliam na visualização e análise. Isso pode ajudar a prever o comportamento da barragem e, até mesmo, ao estabelecimento de um sistema automático de emissão de alerta, o qual não dispensa a presença de especialistas para validar as análises e o alerta.
- Medição de parâmetros de instrumentação e de registo decorrentes de inspeções de segurança realizadas periodicamente. Utilização de métodos de inspeção automática que podem complementar a inspeção presencial realizada, como a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) associado a modelos BIM para inspeções visuais, bem como de métodos geofísicos, em operação constante, para determinação das zonas saturadas da barragem. Em complemento, o uso da Inteligência Artificial (IA) para processar todas as informações e identificar possíveis anomalias nas imagens aéreas.

Praticamente todas as soluções apontadas para os problemas identificados estão associados ao conceito de gestão de ativos ou *Facility Management* (FM)

O uso de FM em obras civis tem sido amplamente estudado com diferentes tipos de aplicações utilizando a metodologia BIM, como por exemplo o acesso e a atualização dos dados de forma contínua e fiável durante todo o ciclo de vida de uma obra [13,14]. Um exemplo geral de aplicações de BIM com FM é a otimização da gestão e da manutenção das infraestruturas, integrando o modelo de construção *as-built* e as informações dos equipamentos aos sistemas usados ao longo do ciclo de vida dessa infraestruturas [15,16]. Outra aplicação é o uso de dispositivos IoT para integrar informações de estruturas em tempo real, o que pode ser benéfico para diferentes tipos de utilizadores no contexto da gestão de ativos, como diferentes tipos de monitorização [16–18].

Embora existam várias discussões sobre as aplicações da integração entre o BIM e o FM no projeto, construção e operação / manutenção de edifícios, ainda é necessário recorrer a algumas adaptações para o uso da metodologia BIM em projetos de

infraestruturas. Recentemente, tem havido um interesse crescente na aplicação do BIM à infraestrutura, que possui complexidades e particularidades próprias [19]. No entanto, existem diversos tipos de obras de infraestrutura como túneis, barragens, aeroportos, rodovias e ferrovias entre outros, cada um potencialmente exigindo uma abordagem diferente baseada em BIM, que criam um desafio para a integração do BIM no FM [19].

Já existem algumas aplicações do uso da metodologia BIM para barragens de betão. No entanto, ainda são necessários avanços significativos para incorporar as ferramentas de BIM na aplicação completa para todas as fases da barragem (projeto, construção e operação). No caso de aplicação a barragens de aterro, a metodologia BIM é ainda incipiente e praticamente não existem trabalhos técnico-científicos a respeito. Para este tipo de barragem, as aplicações reportadas limitam-se à fase de projeto.

Com base no exposto, o principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de procedimento baseado na metodologia BIM, e aplicada a barragens de aterro, que permita tirar proveito da informação indexada em contexto geométrico para facilitar os processos de análise dos dados de instrumentação de barragens de aterro existentes. Este processo pretende automatizar algumas atividades para solucionar alguns dos problemas identificados durante o processo de análise manual dos dados de instrumentação, como (i) dados disponíveis em ficheiros diferentes, não permitindo uma análise concentrada e integrada, (ii) falta de processos automatizados para conectar as informações em diferentes tipos de análise de dados e ferramentas de visualização.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados diferentes tipos de ferramentas e *softwares*. O modelo BIM foi desenvolvido no *Revit* versão 2021. Os códigos de análise de dados e para vincular as informações ao *Revit* foram desenvolvidos no *Dynamo* utilizando programação em *Python*. Os dados foram armazenados e estruturados em base de dados Relacional.

A metodologia desenvolvida foi aplicada a uma barragem de aterro real, a Barragem de Odelouca. Esta barragem está localizada na região do Algarve, em Portugal, para abastecimento de água. O principal resultado é um modelo 3D BIM com informações geométricas da barragem e os respectivos dados de instrumentação.

2. Estrutura integrada para o monitorização de barragens

Para o entendimento completo das etapas de trabalho, a Figura 1 mostra o respetivo fluxograma computacional. Nesse fluxograma o procedimento foi dividido em quatro atividades identificadas com A, B, C e D, que correspondem respectivamente a: criação da geometria; definição e implementação do sistema de base de dados; definição dos objetos BIM e conexão com a base de dados; visualização e análise dos resultados.

A atividade identificada como A consiste na conversão da geometria existente no modelo BIM tridimensional. Para isso as informações de projeto foram transpostas para folhas de cálculo em Microsoft Excel, tendo sido utilizada programação visual e a linguagem Python para estabelecer a troca de informações com a plataforma de modelação BIM. O resultado é o modelo BIM *As-is* da geometria da barragem.

A geometria é gerada a partir dos pontos chave das secções transversais da barragem (maciços estabilizadores, núcleo e sistema de drenagem interno). A partir destes pontos, de cada uma das zonas é gerado um polígono. Esses polígonos são extrudidos em relação ao eixo da barragem, gerando três sólidos independentes. Este procedimento é realizado para os três tipos de zonas (maciços estabilizadores, núcleo e sistema de drenagem interno). O sólido correspondente à barragem de aterro é cortado de acordo com as geometrias correspondentes às diferentes zonas da barragem.

A atividade B consiste na criação da base de dados das informações referentes à instrumentação e à verificação dos dados previamente existentes na base de dados, e consequentemente a escrita de dados inexistentes. A programação foi realizada em linguagem *Python* utilizando a plataforma aberta *Jupyter Notebook*. Quanto ao sistema de gestão da base de dados (SGBD) escolheu-se o SQLite por ser uma ferramenta disponível gratuitamente que não oferece restrições ou limite de atributos e permite a permanência dos dados. Além disso, com SQLite, a conexão entre o modelo BIM e a base de dados torna-se fácil usando a linguagem de programação visual. Com efeito, a conexão não precisa de um servidor dedicado porque esta base de dados lê e grava diretamente do ficheiro em disco.

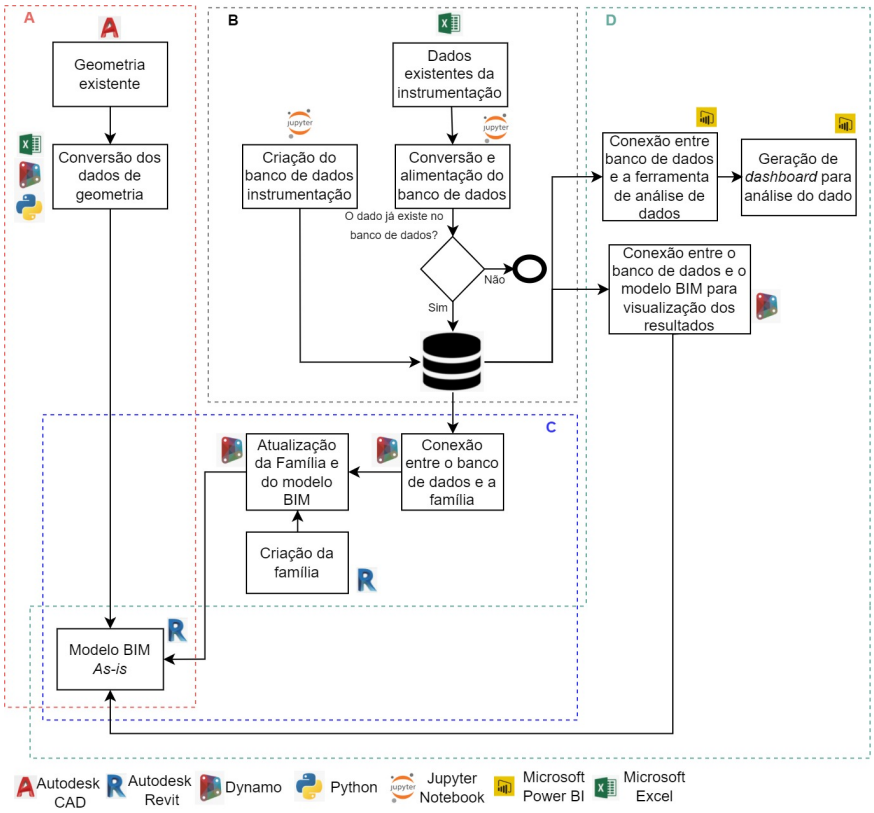


Figura 1
Fluxograma computacional.

O esquema conceptual da base de dados criada, pode ser analisado em detalhe na dissertação de mestrado que está na génese do presente artigo [20].

A atividade C consiste na criação dos objetos BIM e a conexão da base de dados com o modelo BIM, estabelecida por meio a programação visual.

A primeira etapa na criação de um novo objeto BIM é definir um dos padrões ou procedimentos, como o *Open BIM Object Standard* (OBOS), que contribui para a interoperabilidade em modelos BIM. A segunda etapa é identificar a existência de objetos e modificar e inserir as informações necessárias para o projeto [13]. Porém, não existem bibliotecas de instrumentação geotécnica disponíveis, tampouco existem *templates* que possam auxiliar na construção do objeto.

Portanto, para a criação do objeto de instrumentação, optou-se por iniciar o desenvolvimento do *Product Data Template* (PDT) de um instrumento, as baterias de assentamento.

O *level of information need* foi definido de acordo com as condições de uma barragem já construída, ou seja, considerando que os instrumentos estão instalados e estão em fase de operação. O desenvolvimento do modelo BIM é uma forma de contribuir com a análise e visualização dos resultados da instrumentação. Neste contexto, o *level of information need* foi definido em função das informações necessárias para análise da segurança da barragem e modo a evitar o excesso ou informações que não pudessem ser utilizadas nas análises.

As informações mais importantes definidas para as baterias de assentamento são: i) o nome e localização do instrumento, ii) o nome e a profundidade da instalação de cada anel, iii) a data de medição e iv) a visualização da medição. Foram também adicionados alguns parâmetros geométricos.

Para os parâmetros do instrumento, procurou-se adequar as regras do *NBS BIM Object Standard* [21], conforme apresentado na Tabela 1, que mostra o PDT proposto. A Figura 2 mostra os dados geométricos e a visualização 3D das baterias de assentamento.

Tabela 1
PDT baterias de assentamento informação não geométrica e geométrica.

Group Parameter	Parameter name	Units	Data Type	Example
Geometric Data	PipeLenght	mm	Numeric	1
	PipeRadius	mm	Numeric	40
	PlateRadius	mm	Numeric	500
	PlateThickness	mm	Numeric	50
Others	DamName	text	Alphanumeric	Odelouca
	InstrumentName	text	Alphanumeric	BA5-1
	RingName	text	Alphanumeric	R1
	InstLocationX		Numeric	2222222.25
	InstLocationY		Numeric	2222222.25
	RingLevel	m	Numeric	20
	MeasurementDate		Alphanumeric	1900-12-31T23:59:59
	InstallationDate		Alphanumeric	1900-12-31T23:59:59
	Settlement	mm	Numeric	200

A atividade D estabelece a conexão entre a base de dados e o modelo BIM *As-is* e a ferramenta de análise de dados, *Microsoft Power BI*. Essa conexão foi estabelecida por meio da linguagem de programação visual.

A visualização dos dados no modelo BIM é feita por meio de um objeto cilíndrico, desenhado na posição de cada um dos anéis. Para isso, foi criado um objeto BIM conforme mostra a Figura 3. A altura dos cilindros corresponde ao valor do deslocamento vertical, e a escala de cores também fornece uma imagem prévia do mesmo parâmetro.

Nessa atividade também é estabelecida a conexão da base de dados com a ferramenta de análise. A aplicação desse tipo de ferramenta na indústria da construção civil tem sido cada vez mais utilizada, devido à necessidade de processamento e análise dos dados produzidos, principalmente com a integração entre as técnicas de BIM, IoT e Data Mining (DM) [22].

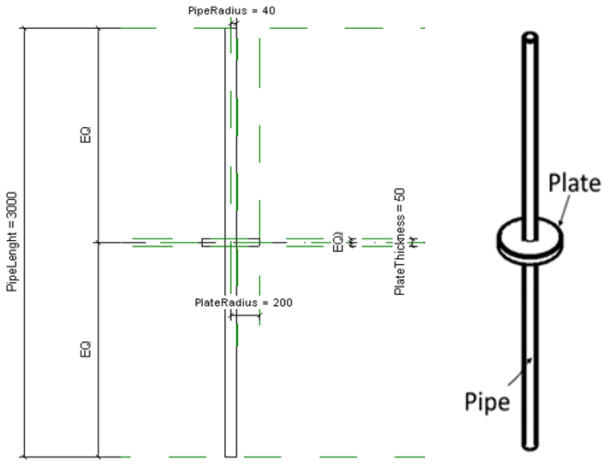


Figura 2
Informação geométrica integrante em objeto BIM baterias de assentamento.

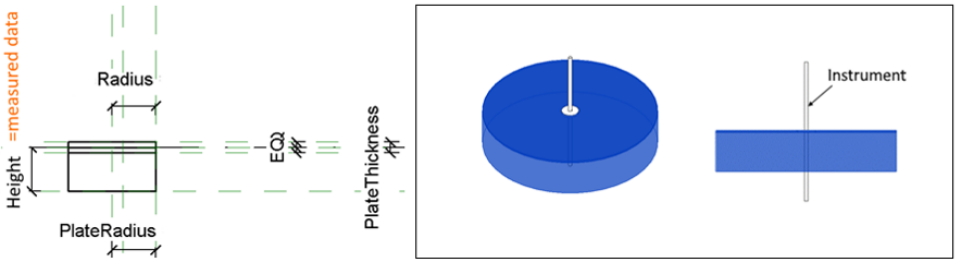


Figura 3
Visualização dos resultados em objeto BIM.

3. caso de estudo: Barragem Odelouca

A barragem de Odelouca é uma barragem de aterro localizada, no barlavento algarvio, a norte de Silves, na Ribeira de Odelouca, o principal afluente do rio Arade. A barragem é utilizada para abastecimento de água à zona barlavento e tem o coroamento à cota 106 m e uma altura máxima acima da fundação de 76 m. O coroamento tem

11 m de largura e cerca de 415 m de comprimento, com dois trechos retos conectados por um trecho curvo. Os instrumentos instalados no corpo da barragem são: marcas de superfície, baterias de assentamento, inclinómetros e piezómetros.

Os instrumentos da barragem de Odelouca, como na maioria das barragens do mundo, não estão equipados para efetuar transmissão de dados em tempo real. Frequentemente, as medições dos dados de observação, ainda são realizadas em formulários de papel, que posteriormente são digitalizados e enviados ao responsável técnico pela avaliação da segurança. No caso da barragem de Odelouca, existe uma folha de cálculo em Excel diferente para cada um dos instrumentos, o que dificulta uma análise integrada dos resultados, sendo a análise realizada essencialmente bidimensional e individualizada para cada instrumento. Na maioria dos casos, a análise é realizada em cada uma das seções transversais definidas no plano de observação. A integração global dos dados fica a cargo do técnico responsável que tem que se socorrer da sua capacidade de abstração para perceção global. Diante do exposto, é interessante concentrar os dados da instrumentação numa base de dados integrada e visualizar os resultados de forma integrada e tridimensional. Além disso, algumas ferramentas de análise de dados permitem uma avaliação diferenciada dos dados, com base em modelos estatísticos de correlação de informações e de dados.

Este trabalho apresenta um exemplo de aplicação da conexão entre diferentes ferramentas a fim de integrar informações, concentrá-la em base de dados integrada e visualizar de forma diferenciada, seja através da visualização tridimensional ou até mesmo em uma ferramenta de análise de dados. De acordo com o fluxo de trabalho mostrado na Figura 1, o processo começa com a definição da geometria tridimensional. A geometria desenvolvida neste projeto foi simplificada e limitada aos maciços estabilizadores, núcleo e sistema de drenagem interna. A Figura 4 mostra uma visão do modelo tridimensional criado.

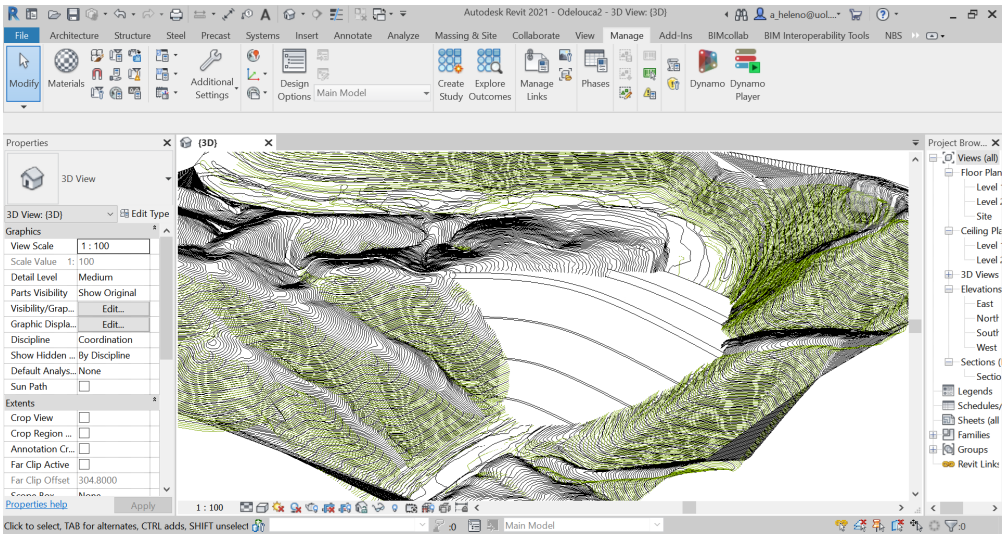
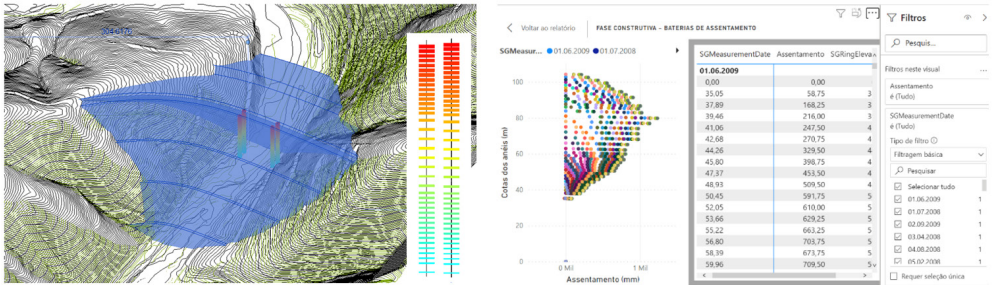


Figura 4
Modelo BIM geometria da barragem.

A partir da criação da base de dados relacional com todas as medições e informações dos instrumentos referentes às baterias de assentamento, foi possível estabelecer uma conexão com o modelo BIM. Esta conexão permitiu o desenho automático da posição dos instrumentos, dos resultados da observação e de informações adicionais para cada instrumento. A Figura 5 (a) mostra a visualização 3D dos dados de instrumentação no modelo BIM. Também foi possível estabelecer a conexão da base de dados com ferramentas de análise, facilitando a sua análise integrada, conforme mostra a Figura 5 (b).



(a) (b)

Figura 5
Visualização dos dados de instrumentação (a) modelo BIM (b) ferramenta de análise de dados.

4. Considerações finais

O trabalho desenvolvido pretendeu implementar, explorar e demonstrar algumas aplicações potenciais de modelos BIM para barragens de aterro existentes, com foco na análise de dados de instrumentação durante a fase de operação. As principais conclusões podem ser resumidas nos seguintes pontos:

Foi estabelecida a conexão entre a base de dados e o modelo BIM, de forma a garantir as indexação da informação ao modelo da barragem (geometria, instrumentação e informações do equipamento).

Verificou-se que existem recursos para realizar a visualização no modelo BIM, sendo uma ferramenta promissora. No entanto, são ainda necessários aprofundamentos adicionais na visualização integrada dos dados, sendo para isso necessário o desenvolvimento de códigos mais avançados para visualização ou mesmo para análise de dados. Neste sentido, torna-se eficiente a sua integração com ferramentas existentes que permitam a análise e visualização dos dados, sendo esta uma das possibilidades testadas ao longo deste trabalho, que mostrou que a ligação entre a base de dados e as ferramentas de análise também é possível.

A aplicação dos processos desenvolvidos à barragem de Odelouca, mostrou que a utilização do modelo BIM é promissora, embora o exemplo apresentado seja simplificado e restrito a apenas um tipo de instrumento.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020.

As atividades foram desenvolvidas dentro do programa European Master in Building Information Modelling (BIM A+) em parceria do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Referências

[1] J. M. F. Lopes, "BIM Application in the Evaluation of Airport Infrastructures", 2017.

[2] Y. C. Sari, C. A. Wahyuningrum, and N. C. Kresnanto, "Building Information Modeling (BIM) for Dams-Literature Review and Future Needs", *J. Civ. Eng. Forum*, vol. 6, no. 1, pp. 61-68, 2020, doi: 10.22146/jcef.51519.

[3] L. P. B. Fernandes, "An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams", 2015.

[4] W. Shou, J. Wang, X. Wang, and H. Y. Chong, "A Comparative Review of Building Information Modelling Implementation in Building and Infrastructure Industries", *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 22, no. 2, pp. 291-308, 2015, doi: 10.1007/s11831-014-9125-9.

[5] H. F. Liu, C. Ren, Z. T. Zheng, Y. J. Liang, and X. J. Lu, "Study of a gray genetic BP neural network model in fault monitoring and a diagnosis system for dam safety", *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.3390/ijgi7010004.

[6] J. E. Evans, S. D. Mackey, J. F. Gottgens, and W. M. Gill, "Lessons from a dam failure", *Ohio J. Sci.*, vol. 100, no. 5, pp. 121–131, 2000.

[7] S. A. N. VALLEJO, "Hydraulic engineering failure of large dams", p. 110, 2016.

[8] M. Foster, R. Fell, and M. Spannagle, "The statistics of embankment dam failures and accidents", *Can. Geotech. J.*, vol. 37, no. 5, pp. 1000-1024, 2000, doi: 10.1139/t00-030.

[9] A. Nasrat, A.-A. Nadhir, K. S. Varoujan, and L. Jan, "Dam Safety Problems Related to Seepage", *Res. Gate*, vol. 10, no. 6, pp. 191–239, 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/342329857_Dam_Safety_Problems_Related_to_Seepage.

[10] L. Clarkson and D. Williams, "Critical review of tailings dam monitoring best practice", *Int. J. Mining, Reclam. Environ.*, vol. 34, no. 2, pp. 119-148, 2020, doi: 10.1080/17480930.2019.1625172.

[11] R. Fell, P. MacGregor, and D. Stapledon, *Geotechnical engineering of embankment dams*. Rotterdam: A.A. Balkema, 1992.

[12] T. C. Fusaro, "Estabelecimento Estatístico de Valores de Controle para a Instrumentação de Barragens de Terra: Estudo de Caso das Barragens de Emborcação e Piau", 2007.

[13] M. B. Trabulci, "Interoperability framework for BIM-FM based on a relational database", Universidade do Minho, 2020.

[14] E. Seghezzi *et al.*, "Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment", *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/app11073108.

[15] K. 2011 Eastman, C.M, Teicholz, P.Sacks, R. and Liston, *A Guide to Building Information Modelling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2018.

[16] A. B. A. Altohami, N. A. Haron, A. H. Ales@Alias, and T. H. Law, "Investigating approaches of integrating BIM, IoT, and facility management for renovating existing buildings: A review", *Sustain.*, vol. 13, no. 7, 2021, doi: 10.3390/su13073930.

[17] Z. Pourzolfaghar, P. Mcdonnell, and M. Helfert, "Barriers to Benefit from Integration of Building Information with Live Data from IOT Devices during the Facility Management Phase", *CITA BIM Gather.*, no. November, p. 5, 2017, [Online]. Available: http://doras.dcu.ie/22126/1/Barriers_to_Benefit_from_Integration--14-Sep-17.pdf.

[18] M. Valinejadshoubi, O. Moselhi, A. Bagchi, and A. Salem, "Development of an IoT and BIM-based automated alert system for thermal comfort monitoring in buildings", *Sustain. Cities Soc.*, vol. 66, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102602.

[19] S. L. M. Correa and E. T. Santos, *BIM Support in the Tendering Phase of Infrastructure Projects*, vol. 98. Springer International Publishing, 2021.

[20] A. Heleno, M. Azenha, and L. Caldeira, "BIM for information management in structural safety control of embankment dams BIM for information management in structural safety control of embankment dams", 2021.

[21] NBS Enterprises Ltd, "NBS BIM Object Standard Version 2.1", no. March, pp. 1-41, 2019.

[22] Y. Pan and L. Zhang, "A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management", *Autom. Constr.*, vol. 124, no. January, p. 103564, 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103564.

Digitalização de informação na inspeção remota de estruturas de betão armado com recurso a inteligência artificial

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.39

Eurico Carola[1], Ricardo Santos[2], Diogo Ribeiro2[1], Gustavo Nina[3], Rafael Cabral[4], Nuno Pinto[4]

[1] *Conduril – Engenharia SA, Ermesinde*

[2] *CONSTRUCT-LESE, ISEP/ISEPBIM, Porto*

[3] *ISEP, Porto*

[4] *CONSTRUCT-LESE, FEUP, Porto*

Resumo

O presente artigo descreve o desenvolvimento de uma metodologia eficiente de identificação de fissuras em estruturas de betão armado com recurso a UASs e a técnicas de inteligência artificial de processamento de imagem. A metodologia possibilita a deteção e caraterização dimensional das fissuras, nomeadamente do seu desenvolvimento e abertura, com recurso a redes neuronais convolucionais por regiões (R-CNN) e algoritmos dedicados, desenvolvidos em Matlab®. A rede neuronal foi baseada numa extensa base de dados, com cerca de 86000 imagens, e apresentou um índice de fiabilidade próximo dos 99%. A metodologia foi aplicada à inspeção remota da fachada exterior do edifício F do campus do ISEP onde foi possível identificar diversas fissuras com dimensões que atingiram 0,3 mm. A informação digital recolhida servirá de base para o planeamento mais eficiente das operações de manutenção da infraestrutura incluindo eventuais trabalhos de reparação ou reforço.

1. Introdução

A digitalização da informação proveniente de inspeções de estruturas de betão armado, é ainda, em muitas situações, um desafio para os inspetores. Atualmente novos meios tecnológicos de inspeção remota estão disponíveis particularmente o recurso a veículos aéreos não tripulados (UAS) e sistemas avançados de vídeo. Além disso, novas técnicas baseadas em inteligência artificial têm possibilitado a identificação automática e eficiente de anomalias estruturais.

No que diz respeito as técnicas baseadas em Inteligência Artificial (IA) [1], algoritmos de aprendizagem profunda (*deep learning*) são amplamente utilizados em visão computacional e mais especificamente na classificação de imagens. Neste domínio os algoritmos mais utilizados são as Redes Neuronais Convolucionais (CNNs) [2], nomeadamente as baseadas em Regiões (R-CNN), que têm demonstrado resultados promissores na deteção e caraterização de anomalias sobretudo de fissuras.

Cha et al. [3] propuseram uma metodologia baseada em R-CNN para a deteção automática de fissuras. Para isso utilizaram uma base de dados de 40,000 imagens de betão intacto e fissurado, e registaram uma taxa de sucesso de classificação de 97,95%. Li e Zhao [4] analisaram o desempenho de cinco modelos de *deep learning* na deteção e localização de fissuras em estruturas de betão tendo concluido que existe uma relação direta entre a precisão do modelo e a qualidade e dimensão da base de dados. No entanto, o aumento da dimensão da base de dados sem a necessária variabilidade das caraterísticas das imagens degradou o desempenho dos modelos. Também a criteriosa definição dos hiperparâmetros dos modelos demonstrou ser decisiva para alcançar maiores taxas de sucesso.

Além da deteção de fissuras, também é possível realizar a sua caraterização, nomeadamente em termos da aferição do seu desenvolvimento e abertura, recorrendo a técnicas de processamento heurístico de imagens [5]. Geralmente, estas características são diretamente medidas na unidade do pixél e facilmente convertidas para o sistema métrico conhecida a resolução da imagem [6].

Mais recentemente, novos meios tecnológicos foram introduzidos nas inspeções remotas, nomeadamente os sistemas UAS com sistemas de visão computacional [7, 8]. Estes sistemas acoplados demonstraram ser competitivos em estruturas localizadas em áreas extensas e/ou de difícil acesso, permitindo uma redução considerável dos custos e tempos de execução, uma vez que requerem menos pessoal técnico. No entanto, o desempenho das ferramentas de processamento de imagens digitais depende muito das condições de aquisição das imagens, tais como [9]: o ângulo de captura distorção, as condições meteorológicas e a eventual presença de poeiras nas superfícies.

Este artigo apresenta desenvolvimentos recentes sobre a digitalização da informação de inspeções remotas baseadas em técnicas de visão computacional e UAS. É da

especial atenção ao desenvolvimento e aplicação de uma metodologia robusta capaz de detetar e caracterizar fissuras em estruturas de betão armado.

2. Metodologia de inspeção remota com recurso a drones e IA

A metodologia proposta para a inspeção remota baseada em UAS compreende quatro fases distintas, conforme indicado na Figura 1, nomeadamente: 1) reconhecimento da estrutura e preparação do voo; 2) recolha de imagens utilizando UAS, 3) processamento das imagens com recurso a CNNs e/ou técnicas heurísticas, e 4) a digitalização da informação com integração BIM.

A fase 1 de reconhecimento e preparação envolve: *i*) a recolha de elementos do projeto e a investigação do histórico de inspeção da estrutura-alvo *ii*) visita ao local para avaliar as condições e possíveis fatores de risco (obstáculos ao voo, exposição ao vento, interferências eletromagnéticas, etc.), *iii*) obtenção de licenças de voo das autoridades nacionais competentes *iv*) seleção do pessoal técnico e equipamento de voo (UAS, câmara, etc.), *v*) elaboração de um plano de voo, incluindo a definição de zonas de aterragem/descolagem, o tempo de voo, a estratégia de recolha de imagens e a proximidade do UAS ao alvo.

A fase 2, de recolha de imagens com UAS, envolve, numa primeira etapa, um levantamento topográfico de precisão de alguns pontos de controlo da estrutura, i.e, alvos auxiliares e/ou pontos notáveis da estrutura. Esta etapa é essencial para a georreferenciação e calibração das imagens recolhidas. Numa segunda etapa, as imagens são captadas com um UAS equipado com uma câmara vídeo. A recolha de imagens deve ser feita com segurança, o mais próximo possível da estrutura, uma vez que distâncias mais curtas melhoram a resolução da imagem.

Figura 1
Metodologia para inspeção remota.

A fase 3 envolve a deteção e identificação automática de fissuras na superfície do betão, com base em CNNs ou técnicas heurísticas. As imagens georreferenciadas podem ainda ser usadas para realizar uma reconstituição geométrica 3D da estrutura por aplicação de técnicas de fotogrametria disponíveis no Pix4Dmapper®, ou para a realização de ortofotos por aplicação do Microsoft Image Composite Editor®.

Por último, a fase 4 consiste na integração da imagem com as patologias identificadas no modelo BIM, e envolve duas fases: i) a incorporação da máscara associada a uma determinada patologia no modelo BIM desenvolvido na plataforma Autodesk Revit, e ii) a quantificação de indicadores de dano com base nas medições efetuadas diretamente a partir das imagens. A imagem com as patologias marcadas é incluida no modelo BIM através do software Autodesk Navisworks.

3. Identificação automática de fissuras com recurso a CNNs

3.1. Aspetos gerais

No processo de criação de uma CNN estável e eficiente, dois passos essenciais devem ser realizados: *i)* a constituição de um *dataset* de imagens, *ii)* o treino e validação do modelo.

A qualidade do *dataset* é crucial no desenvolvimento de uma CNN e deve cobrir o maior número de cenários reais possíveis. Por sua vez, o modelo de *deep learning* utilizado baseou-se no conceito de *transfer-learning*, i.e., na adaptação de um modelo pré-treinado ao problema da identificação de fissuras, neste caso o modelo *AlexNet*. Os parâmetros de treino têm muita influência na eficiência do modelo, sobretudo a definição da percentagem do *dataset* reservada para validação, da taxa de aprendizagem, do número máximo de *epochs* e do tamanho do *batch* [3]. No processo de validação são calculadas métricas que permitem avaliar a qualidade do modelo treinado, nomeadamente a *accuracy, precision, recall* e *F1 score* [3]. Caso os valores das métricas descrevam um modelo deficiente será necessário retreinar o modelo após melhorar o *dataset* e/ou alterar os parâmetros de treino.

Na Figura 2 ilustra-se a metodologia de deteção e caraterização de fissuras em estruturas de betão. Nas secções seguintes serão detalhados os algoritmos inerentes à metodologia.

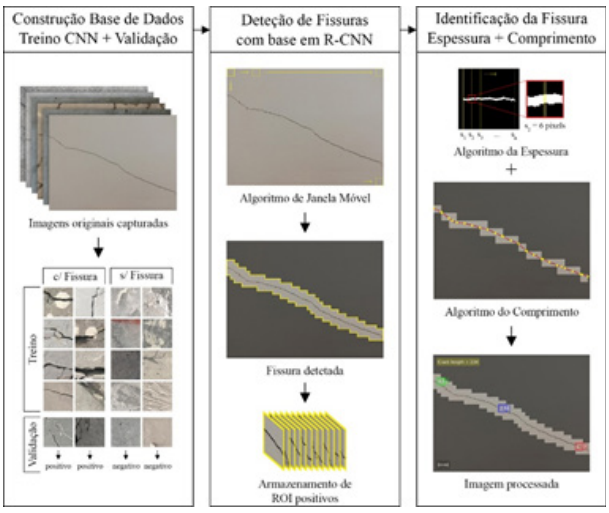


Figura 2
Metodologia de deteção e caraterização de fissuras.

3.2. Base de dados de imagens

Na Figura 3 ilustra-se esquematicamente o processo de desenvolvimento do *dataset* de imagens que pode ser dividido em três etapas.

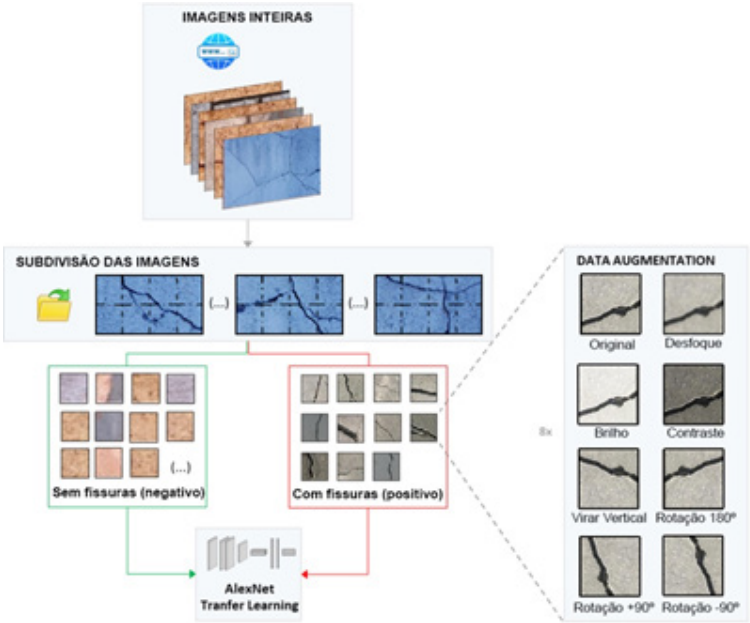


Figura 3
Fluxograma de desenvolvimento do *dataset* de imagens.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa Web extensiva com o objetivo de recolher o maior número de imagens de superfícies de betão fissuradas e não fissuradas. Seguidamente, foi aplicado um *script* desenvolvido em ambiente MATLAB® para subdividir as imagens obtidas em 227×227 pixél considerando uma sobreposição de 50% de modo a conseguir-se o melhor aproveitamento das imagens. Finalmente, é aplicada uma técnica de *data augmentation* que consiste no aumento da base de dados recorrendo a transformações geométricas das imagens, nomeadamente, filtros de *blur/* desfoque, alterações no brilho e contraste, rotação e espelho, etc.

3.3. Treino e validação

O treino da CNN foi executado em ambiente MATLAB®, mais especificamente através -da *Deep Learning Toolbox*. Dos diversos modelos pré-treinados disponíveis nesta *Toolbox* foi escolhido o *AlexNet* devido à sua flexibilidade e velocidade de treino. O *AlexNet* está configurado para classificar 1000 categorias, por isso foi necessário alterar os últimos *layers* da arquitetura do modelo de forma a torná-lo um classificador binário: superfície com fissura (positivo) e superfície sem fissura (negativo). O *dataset* de imagens foi dividido de modo a que 80% das imagens foram usadas no treino, enquanto os restantes 20% foram reservados para a validação. O treino durou cerca de 8 h num computador com processador Intel I7-10510U @ 1,80GHz, placa gráfica Nvidia GeForce MX250, *motherboard* Asus H110M-K, RAM HyperX Fury DDR4 8GB (2400MHz) e sistema operativo Windows 10 64-bit. Após o treino, foi efetuada

uma avaliação do modelo com recurso ao cálculo das métricas de validação, sendo que os valores da *accuracy, precision, recall* e *F1-score* foram iguais a 97.7%, 98.3%, 97.5% e 98.1%, respetivamente. A Figura 4 ilustra esquematicamente o processo de treino e validação.

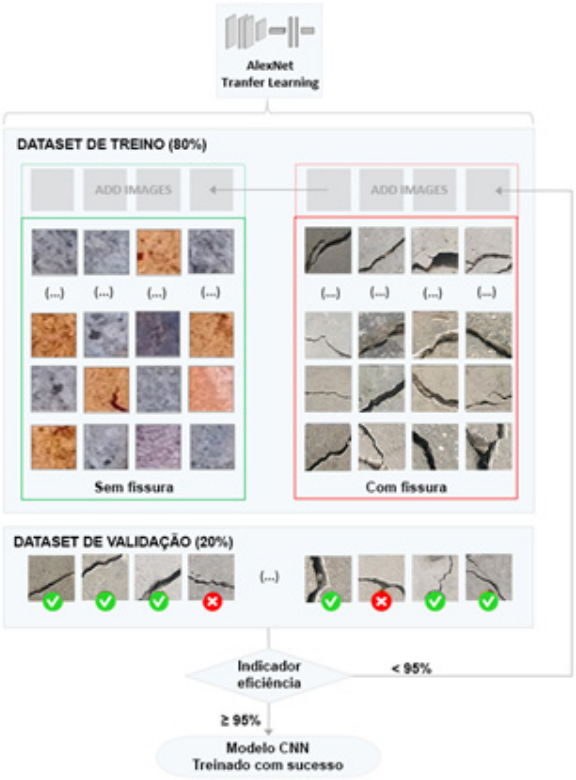


Figura 4
Fluxograma de treino e validação.

3.4. Algoritmos de caraterização da espessura e desenvolvimento

A caracterização da fissura consiste em analisar dois fatores: as espessuras em diversos pontos e o desenvolvimento da fissura ao longo da superfície. Para tal, foram desenvolvidos dois algoritmos com base em métodos heurísticos de processamento de imagem. Na base da caracterização está a deteção da fissura realizada pelo modelo CNN, e a sua robustez é fulcral na credibilidade dos resultados. Ao longo da deteção são guardados todos os ROIs (*Regions Of Interest*) classificados como positivos. Esses mesmos ROIs positivos são depois processados e caracterizados um a um tal e qual está detalhado na Figura 5. No final, é exportada a imagem com os valores calculados pelos algoritmos.

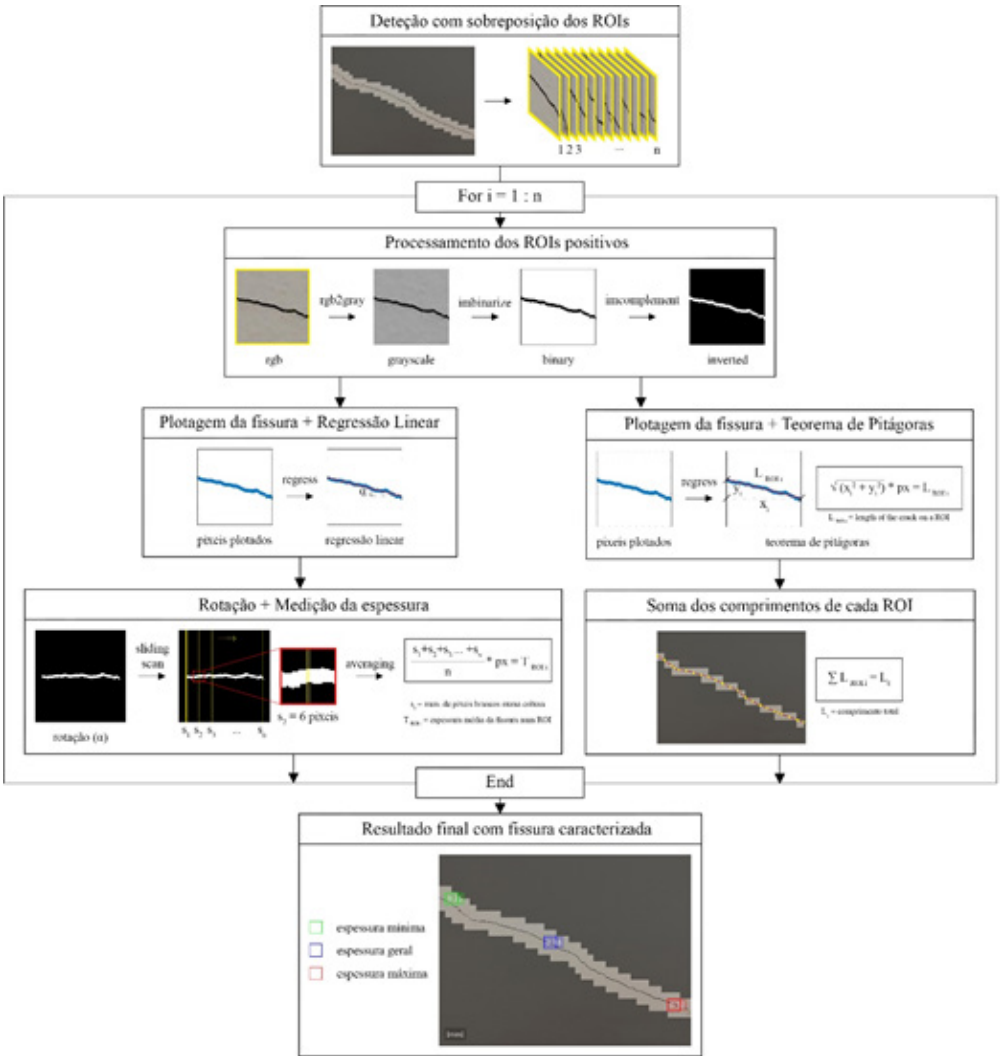


Figura 5
Algoritmo heurístico de caraterização de fissuras.

4. Caso de estudo: edifício F do campus ISEP

4.1. Descrição do edifício

O edifício F do Campus do ISEP tem uma área de implantação de 2635 m^2 e uma área utilizável de 13432 m^2 distribuída por 5 pisos acima da cota soleira e um piso enterrado. A fachada leste do edifício (Figura 6) apresenta fendilhação evidente e distribuída em praticamente toda a sua extensão, desde o piso térreo até ao último piso, por razões possivelmente associadas a assentamentos das fundações. A parte da parede estudada corresponde à zona em alvenaria de tijolo com acabamento em reboco e pintura, por oposição a uma zona revestida com painéis de pedra natural, onde a fissuração não aparece tão evidente. Nestas circunstâncias a utilização de meios de inspeção remota é vantajosa uma vez que a fachada não facilita a utilização de meios mecânicos ou instalação de andaimes.

Figura 6
Vista da fachada leste do edifício F, objeto da inspeção remota.

4.2. Equipamento

A Figura 7 ilustra as especificações técnicas do drone Matrice 600 Pro do fabricante DJI, das câmaras fotográficas e do laser ótico que foram utilizados enquanto componentes do sistema de inspeção remota.

Figura 7
Descrição dos principais componentes do sistema.

O DJI Matrice 600 Pro é um hexacóptero com uma massa máxima recomendada de decolagem de 15,5 kg, uma velocidade horizontal máxima de 65 km/h, uma altura máxima de serviço de 2500m acima do nível do mar e uma autonomia estimada de voo de aproximadamente 32 min (por conjunto de baterias). A câmara instalada no drone é do modelo DJI Zenmuse X5 estabilizada por um *gimbal*, possui um sensor CMOS de 4/3" e uma resolução de 16 MPx. O *gimbal* garante a estabilização da imagem ao longo dos três eixos. A visualização das imagens e o controlo remoto do drone foram realizados através de um monitor táctil de alta resolução, o DJI Crystal Sky, com capacidade interna de armazenamento de imagens. Acoplado ao drone existe um laser ótico capaz de medir distâncias de 0.3m a 12m, com uma taxa de amostragem de 8 Hz, resolução de 0.01m e sincronizado com o relógio através de uma ligação Wifi ao telemóvel. A estimativa da distância entre o plano da câmara e o objeto é essencial para a avaliação precisa de distâncias em imagens e deste modo aferir o desenvolvimento e a abertura de eventuais fissuras.

4.3. Resultados

A identificação automática das fissuras da fachada do edifício foi realizada com base em imagens captadas em zonas acessíveis e em zonas não-acessíveis da fachada.

A – Zonas acessíveis

As captações de imagens em zonas acessíveis da fachada, nomeadamente ao nível do piso térreo, tiverem como objetivo a validação da metodologia de identificação automática de fissuras. Em particular, foi realizada uma comparação dos resultados obtidos através das imagens recolhidas pelo UAS e os algoritmos dedicados de identificação de fissuras com os resultados de uma aferição manual das dimensões das fissuras. Na Figura 8 apresenta-se a comparação das dimensões de uma fissura aferida pelas abordagens manual (Figura 8a e 8b) e automática (Figura 8c). A abordagem manual envolveu o decalque das fissuras com recurso a papel vegetal e lápis (Figura 8a), a digitalização do decalque e a sua modelação precisa no programa AutoCAD (Figura 8b). Conforme se pode verificar as estimativas das dimensões obtidas através da abordagem manual (desenvolvimento e espessura média iguais a 379,6mm e 0,76mm respetivamente) e da abordagem automática (desenvolvimento e espessura média iguais a 376mm e 0,77mm respetivamente) são muito similares. A consistência dos resultados obtidos permitiu validar em ambiente operacional a metodologia de identificação automática de fissuras.

a) b) c)

Figura 8
Identificação de fissura com base nas abordagens maual e automática: a) marcação da fissura; b) digitalização da fissura; c) algoritmo automático de identificação.

B – Zonas não-acessíveis

A obtenção das imagens nas zonas não-acessíveis foi direcionada para regiões específicas (ZF) onde se encontram as fissuras. Na Figura 9 encontram-se assinaladas duas regiões da fachada (ZF1 e ZF2) onde será aplicada a metodologia de identificação

automática de fissuras. Neste estudo o UAS voou a uma distância constante de 5 m da fachada e considerando o plano da câmara de vídeo paralelo ao plano da fachada de modo a serem obtidas ortofotos georreferenciadas [7].

Figura 9
Regiões alvo (ZF1 e ZF2) da identificação automática de fissuras.

Na Figura 10 ilustra-se a aplicação da metodologia de identificação automática das fissuras presentes nas regiões ZF1 (Figura 10a) e ZF2 (Figura 10b).

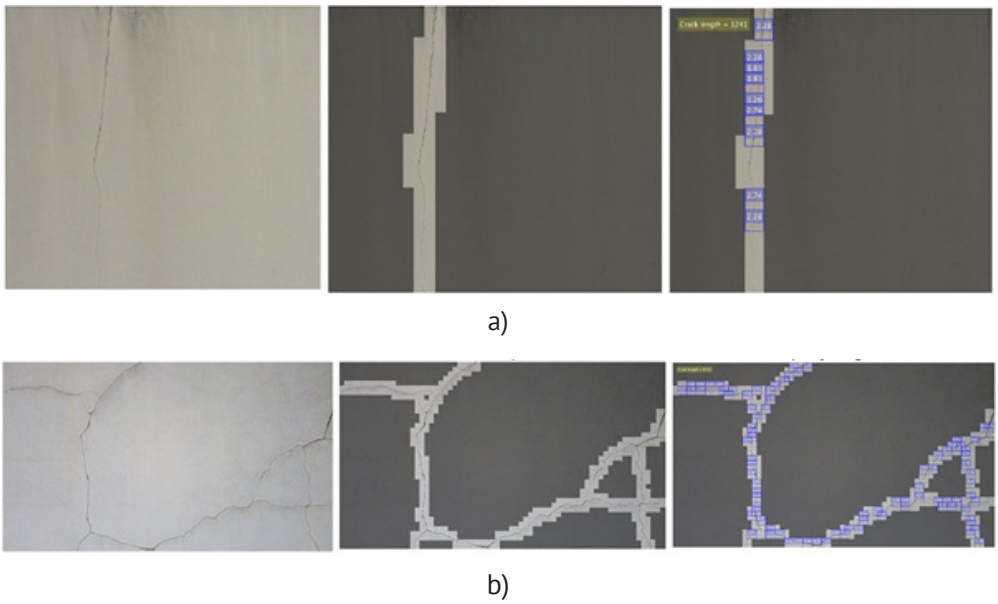


Figura 10
Metodologia de identificação automática das fissuras (fotografia – à esquerda; algoritmo de deteção – ao centro; resultado da aplicação do algoritmo de identificação – à direita): a) ZF1; b) ZF2.

Na região ZF1 foi identificada uma fissura com um desenvolvimento igual a 1241mm e uma abertura variável entre os 1,83mm e 3,20mm. Por sua vez, na região ZF2 foi identificada uma fissura com um padrão aproximadamente circular com um desenvolvimento total igual a 8332mm e uma abertura variável entre os 2,01mm e 8,73mm. Os valores obtidos demonstram que as fissuras nestas regiões, sobretudo na região ZF2, já se encontram num grau de desenvolvimento muito considerável.

6. Conclusões

O presente artigo descreveu uma metodologia inteligente para a digitalização da informação de inspeções remotas com incidência na identificação de fissuras baseada em inteligência artificial. A metodologia proposta assenta numa rede neuronal convolucional por regiões (R-CNN), para a deteção das fissuras, complementada por técnicas heurísticas de processamento de imagens, para a caraterização do desenvolvimento e abertura das fissuras. A metodologia desenvolvida foi aplicada à identificação das fissuras da fachada de um edifício escolar. Os resultados demonstraram a sua eficiência e robustez na identificação de fissuras com distintos desenvolvimentos e aberturas de apenas 0,17mm. A validação da metodologia automática de identificação foi realizada com sucesso através da comparação do seu desempenho com uma abordagem manual baseada no decalque e medição de fissuras em zonas acessíveis da fachada.

Referências

[1] Z. Liu, Y. Cao, Y. Wang, W. Wang "Computer vision-based concrete crack detection using U-net fully convolutional networks", *Automation in Construction*, vol. 104, pp. 129-139, 2019. doi: 10.1016/j.autcon.2019.04.005.

[2] S. Sony, K. Dunphy, A. Sadhu, M. Capretz "A systematic review of convolutional neural network-based structural condition assessment techniques", *Engineering Structures*, vol. 226, pp. 111347, 2021. doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111347.

[3] Y. Cha, W. Choi, O. Büyüköztürk "Deep learning-based crack damage detection using convolutional neural networks", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 32(5), pp. 361-378, 2017. doi: 10.1111/mice.12263.

[4] S. Li, X. Zhao "Image-based concrete crack detection using convolutional neural network and exhaustive search technique", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, pp. 6520620, 2019. doi: 10.1155/2019/6520620

[5] H. Qin, F. Huang, B. Cheng "Crack identification and measurement of bridges by using CNN models", *In Bridge Maintenance, Safety, Management, Life-Cycle Sustainability and Innovations*, Ed. 1, pp. 123-128, 2021. doi: 10.1201/9780429279119-12

[6] H. Kim, E. Ahn, S. Cho, M. Shin, S. Sim "Comparative analysis of image binarization methods for crack identification in concrete structures", *Cement and Concrete Research*, vol. 99, pp. 53-61, 2017. doi: 10.1016/j.cemconres.2017.04.018

[7] D. Ribeiro, R. Santos, A. Shibasaki, P. Montenegro, H. Carvalho, R. Calçada "Remote inspection of RC structures using unmanned aerial vehicles and heuristic image processing", *Engineering Failure Analysis*, vol. 117, pp. 104813, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104813.

[8] D. Ribeiro, R. Santos, R. Cabral, A. Shibasaki "Remote Inspection and Monitoring of Civil Engineering Structures Based on Unmanned Aerial Vehicles", *1st International Conference of the European Association on Quality Control of Bridges and Structures*, *Springer*, pp. 695-703, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-91877-4_79.

[9] Z. Ameli, Y. Aremanda, W. A. Friess, E. N. Landis "Impact of UAV Hardware Options on Bridge Inspection Mission Capabilities", *Drones*, vol. 6(3), p. 64, 2022. doi: 10.3390/drones6030064.

Parte V – Gestão do Património Edificado e Sustentabilidade

HBIM: Documentação do património arquitetónico através de nuvem de pontos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.40

Franciny Santos[1], **Fábio Freire**[2], **Victor Cremonez**[3]

[1] *UTFPR, Curitiba, https://orcid.org/0000-0002-6851-7773*

[2] *UTFPR, Curitiba, https://orcid.org/0000-0002-2395-9519*

[3] *Faculdade de Tecnologia de Curitiba, Curitiba, https://orcid.org/0000-0001-6396-7145*

Resumo

Edifícios históricos representam a memória das nossas sociedades e comunidades. É por isso que a preservação e recuperação desses tipos de edifícios é imprescindível, com intervenções de requalificação, recuperação e reforma. Este trabalho investiga a aplicação da abordagem BIM (*Building Information Modeling*) ao património histórico (HBIM), por meio de um estudo exploratório, com a intenção de demonstrar o potencial de tecnologias de captura da realidade através de varrimento por *laser scanning* 3D e sua integração com a metodologia BIM. Com foco na preservação do património edificado arquitetónico, selecionou-se como estudo de caso o Museu Imperial, localizado no município de Petrópolis - RJ, reconhecido pela UNESCO como património da humanidade. O método utilizado consiste na aquisição e processamento da nuvem de pontos com posterior modelação da edificação utilizando *software* BIM. Os resultados demonstram que o HBIM pode ser uma ferramenta estratégica para o requalificação, recuperação e reforma do património edificado com valor histórico e arquitetónico.

1. Introdução

A documentação gráfica é uma parte importante para a conservação e restauração do património arquitetónico material para as futuras gerações. Neste sentido, tecnologias inovadoras têm surgido com a finalidade de tornar o processo mais preciso e menos moroso, substituindo a medição direta por tecnologias de levantamento digitais [1].

Dentre as opções de levantamento de edificações históricas para aquisição de dados 3D se destacam o Dense Stereo Matching (DSM), laser scanning 3D e fotogrametria digital, todos eles com possibilidades de integração com *softwares* BIM [2].

O BIM por definição é uma metodologia que através de plataformas digitais e bancos de dados atrelados ao modelo 3D possibilitam desde a concepção do projeto até sua manutenção e preservação. Desta forma, ao contrário de desenhos bidimensionais em CAD (*Computer Aided Design*), a metodologia BIM permite o gerenciamento de todo o ciclo de vida da edificação [3].

Como um desdobramento do BIM e aplicado a edificações do património arquitetónico o *Historic Building Information Modeling* (HBIM), termo introduzido por Murphy, McGovern e Pavia [4], se propõe a documentação, análise e conservação de edifícios históricos. Por conseguinte, a principal diferença entre os dois processos – BIM e HBIM - seria o tipo de informação que os modelos digitais apresentam e como estes dados são capturados. Enquanto no BIM o objetivo é coordenar os processos de construção nos diversas disciplinas (arquitetura, estrutura, instalações prediais e manutenção) o HBIM prioriza a definição da geometria, materiais e estado de conservação do objeto levantado [5], [6].

O HBIM seria um processo de engenharia reversa [7], [8]. Inicialmente os elementos arquitetónicos são levantados através de um laser scanner ou fotogrametria e posteriormente estes dados são atrelados a objetos paramétricos, resultando em modelo 3D completo da edificação. Deste modo é possível atrelar informação ao modelo, como materiais e métodos construtivos, bem como gerar as diversas vistas, cortes e demais especificações necessárias para sua preservação e restauração [8], [5].

Este trabalho tem por objetivo investigar a aplicação do processo HBIM através de estudo de caso, buscando apresentar as vantagens das tecnologias de captura da realidade por meio de varrimento laser, bem como sua integração a metodologia BIM, com foco na preservação do património arquitetónico.

2. *Laser scanning* 3D e integração com a metodologia BIM

O levantamento de edificações históricas é um processo de engenharia reversa aonde o modelo existente é interpretado para criação do seu projeto original [1]. Tal documentação pode ser elaborada por meio dos métodos tradicionais de medição

direta, porém, diante das peculiaridades e complexidade do património cultural, esta forma de levantamento não é eficaz em registrar todos os detalhes arquitetónicos.

Atrelando precisão e rapidez, as novas tecnologias de sensoriamento remoto e varrimento se apresentam como uma alternativa vantajosa. O *laser scanning* 3D é uma tecnologia que, partindo do varrimento das superfícies de objetos através de feixes de raios laser, permite a captura de grande volume de dados em curto intervalo de tempo. Com uma precisão milimetrica a tecnologia *laser scanning* gera um modelo geométrico composto por pontos, representados por coordenadas cartesianas (x, y e z) e com valores de reflectividade associados. O conjunto destes pontos é vulgarmente denominado por "nuvem de pontos" [9].

Para aquisição da "nuvem de pontos" as etapas que devem ser consideradas são: planejamento, aquisição dos dados (envolvendo varrimento a laser dos objetos e levantamento dos pontos de controle), pré-processamento (com registro dos *scans* e otimização da nuvem de pontos), processamento (segmentação e modelação, otimização e edição do modelo), análise da precisão do modelo gerado e por fim a exportação dos produtos [9].

Através da captura, pós-processamento e análise da "nuvem de pontos" é possível a geração de componentes HBIM fiéis à realidade [5]. Estes objetos paramétricos inteligentes, termo utilizado por Murphy et al. [10] e Caragnani [5], são ferramentas de desenho que posteriomente serão carregadas de informação sobre os elementos construtivos da edificação levantada [11].

Posto isto, o levantamento é o passo inicial na modelação de edificações históricas, onde posteriomente será atribuído conteúdo aos diversos componentes do modelo e desta forma projetos de intervenção, manutenção e operação serão viabilizados ao longo de toda a vida da edificação, sendo preservado aquele património cultural [12], [2]. Incipiente, mas promissora, a integração entre o BIM e a tecnologia *laser scanning* 3D deve ser mais difundida.

3. Metodologia

O estudo de caso selecionado neste trabalho foi o Museu Imperial (Figura 1), localizado no município de Petrópolis - Rio de Janeiro, tendo sua construção iniciada em 1845 e finalizada em 1862. Este edifício neoclássico projetado pelo major Julius Friedrich Koeler teve sua construção complementada por Cristóforo Bonini e concluída pelos arquitetos Joaquim Cândido Guillobel e José Maria Jacinto Rebelo, associados à Academia Imperial de Belas Artes. Inicialmente foi planejado para ser a residência de verão de D. Pedro II e posteriormente, em 1940, transformado em museu histórico pelo então presidente Getúlio Vargas, hoje conhecido como Museu Imperial. Esta edificação neoclássica possui dois pavimentos no corpo central e um pavimento nas duas alas laterais e simétricas. Permeada de detalhes em estuque, colunas e frontões, conferindo alto grau de detalhamento, este edifício histórico reconhecido

pela UNESCO como património da humanidade resguarda um significativo acervo de peças relativas ao período imperial.

Figura 1
Fotografia frontal do Museu Imperial.

As características geométricas, morfológicas e formais do Museu Imperial foram obtidas através de varrimento a laser. O levantamento foi realizado e disponibilizado pela empresa Leica Geosystems. Para o varrimento laser foi utilizado o Laser Scanner Terrestre (LST), modelo Leica ScanStation P40. O LST ScanStation P40 permite um alcance de 270 m, campo de visão horizontal de 360º e vertical de 270º, taxa de varrimento de 1 milhão de pontos por segundo com precisão 3D de 6 mm em 100 m. Ainda, integrado ao scanner, o equipamento possui uma câmera digital com resolução de 4 megapixels por cada imagem colorida e 700 megapixels para imagens panorâmicas. O LST P40 permite controle remoto através de tablet ou celular usando o *software* Cyclone FIELD 360 da Leica Geosystems, ou ainda, através da própria interface de usuário no aparelho.

Para realização da documentação foram adotados os seguintes procedimentos (Figura 2): mapa de pontos de captura para varrimento laser, varrimento laser 3D, tomada fotográfica através de aeronave remotamente pilotada (voltada para captura de imagens da cobertura e auxílio na confecção do modelo 3D), processamento dos dados brutos e modelação BIM.

Figura 2
Procedimentos para documentação do estudo de caso.

3.1. Nuvem de pontos

Posicionado em um espaço aberto, aonde em sua porção frontal e laterais existe um parque verde e na porção posterior uma área de estacionamento, o edifício em estudo não apresentou grandes limitações para realização do varrimento laser. Para tal foram utilizadas um total de 130 posições do Laser Scanner Terrestre, sendo que 21 destas foram no exterior e todas sofreram um processo de varrimento sem alvos.

Para execução do levantamento delimitou-se o número de posições do LST para aquelas concentradas na porção exterior posterior da edificação, acessadas pelo estacionamento, delimitadas em amarelo no mapa da Figura 3.

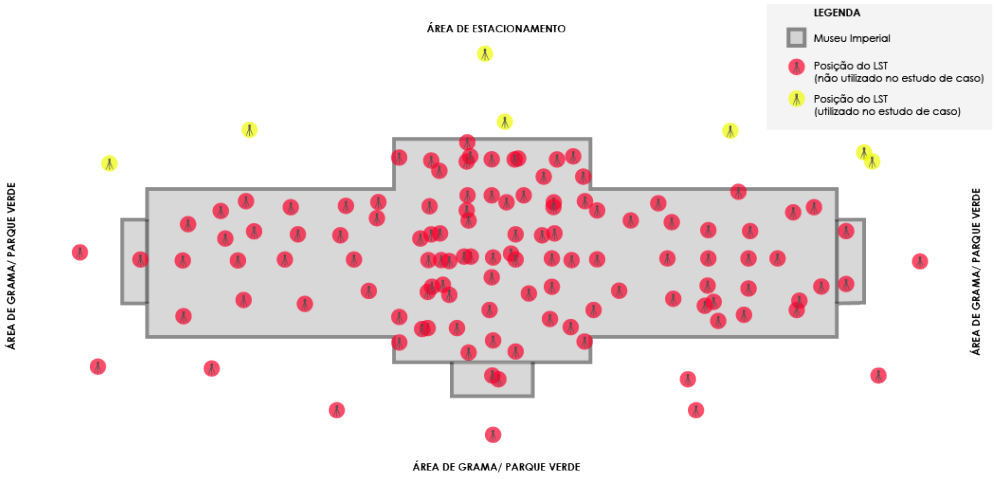


Figura 3
Mapa de planejamento da captura por LST.

O varrimento a laser compreendeu cerca de 90% da edificação, sendo complementado pela tomada de fotografias realizadas por aeronave remotamente pilotada (drone), em sua porção superior, referente à cobertura. Para o varrimento completo do Museu Imperial foram necessários três dias de trabalho, com total aproximado de 24 horas para realizar os 130 varrimentos internos e externos.

3.2. Processamento

O pós-processamento dos dados foi realizado no *software* proprietário Leica Cyclone onde foi executado o registro dos varrimentos laser realizados no local. Optou-se em realizar o varrimento sem a utilização de alvos, buscando rapidez no processo. Mais adiante foram analisadas as tomadas de varrimento individuais e descartadas aquelas próximas ou com algum grau de obstrução visual, sendo selecionadas tomadas suficientes para contemplar toda a edificação. Desta forma, a partir da seleção de três pontos (x, y e z) de uma digitalização o *software* busca pontos similares em outro varrimento e assim o fará até transformar os varrimentos individuais em uma nuvem de pontos única [1].

Para a modelação foi selecionada a porção posterior da edificação, que é referente a área de estacionamento. Os dados foram fornecidos pela empresa Leica Geosystems no formato .e57 e optou-se em transportá-los para o *software* da ReCap Pro em razão da familiaridade da equipe de trabalho com o aplicativo (Figura 4). Em seguida o arquivo foi salvo no formato .rcp permitindo sua importação dentro do *software* Revit 2018.

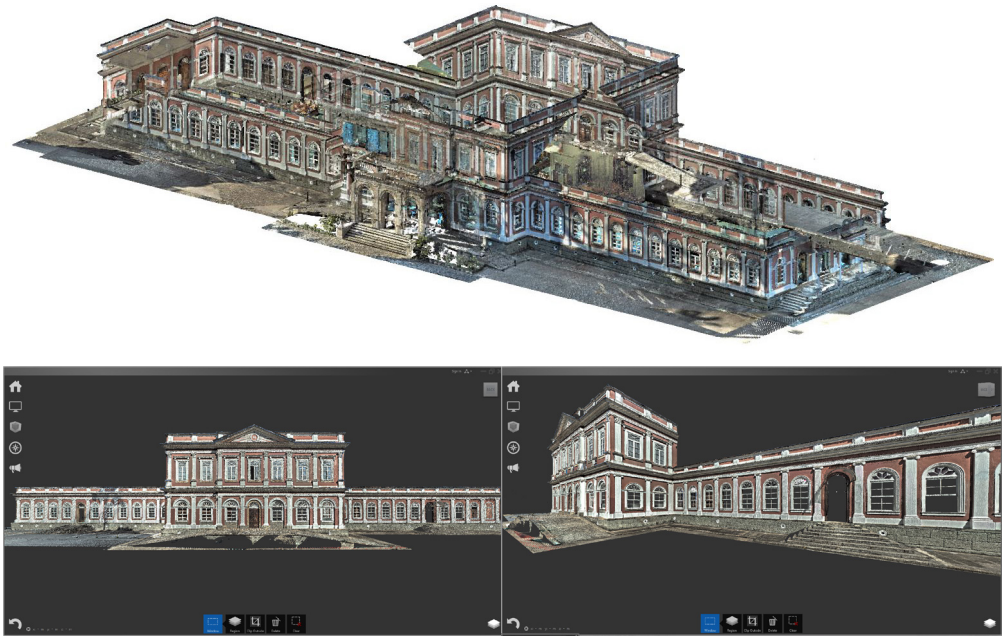


Figura 4
Imagem superior – vista isométrica do volume completo obtido através de laser scanning 3D (*software* da Leica Geosystems JetStream Viewer). Imagens inferiores – recortes da fachada posterior (*software* Autodesk ReCap Pro).

3.3. Modelação BIM

Tendo como base a nuvem de pontos em formato .rcp (ReCap Pro) foi possível iniciar a modelação da edificação através do *software* Revit 2018. A nuvem de pontos foi importada para o arquivo de projeto, servindo como base métrica para a criação dos elementos construtivos, níveis e eixos. Mais adiante trabalhou-se na criação de famílias paramétricas dos diversos elementos que compõem o recorte selecionado: 03 modelos de janelas, 01 modelo de porta, 02 modelos de colunas, 06 modelos de cornija e 02 modelos de rodapé (Figura 5). No entanto, identificou-se algumas dificuldades na execução dos frisos e estuques referentes as famílias criadas, principalmente em razão do nível de detalhe destes elementos neoclássicos, sendo necessária a medição ponto a ponto e anotações para sua execução. Todavia, ao final da modelação verificou-se grande similaridade entre a edificação e o modelo, inclusive tornando possível a modelação da cornija que contorna a edificação, conferindo alto grau de precisão do modelo.

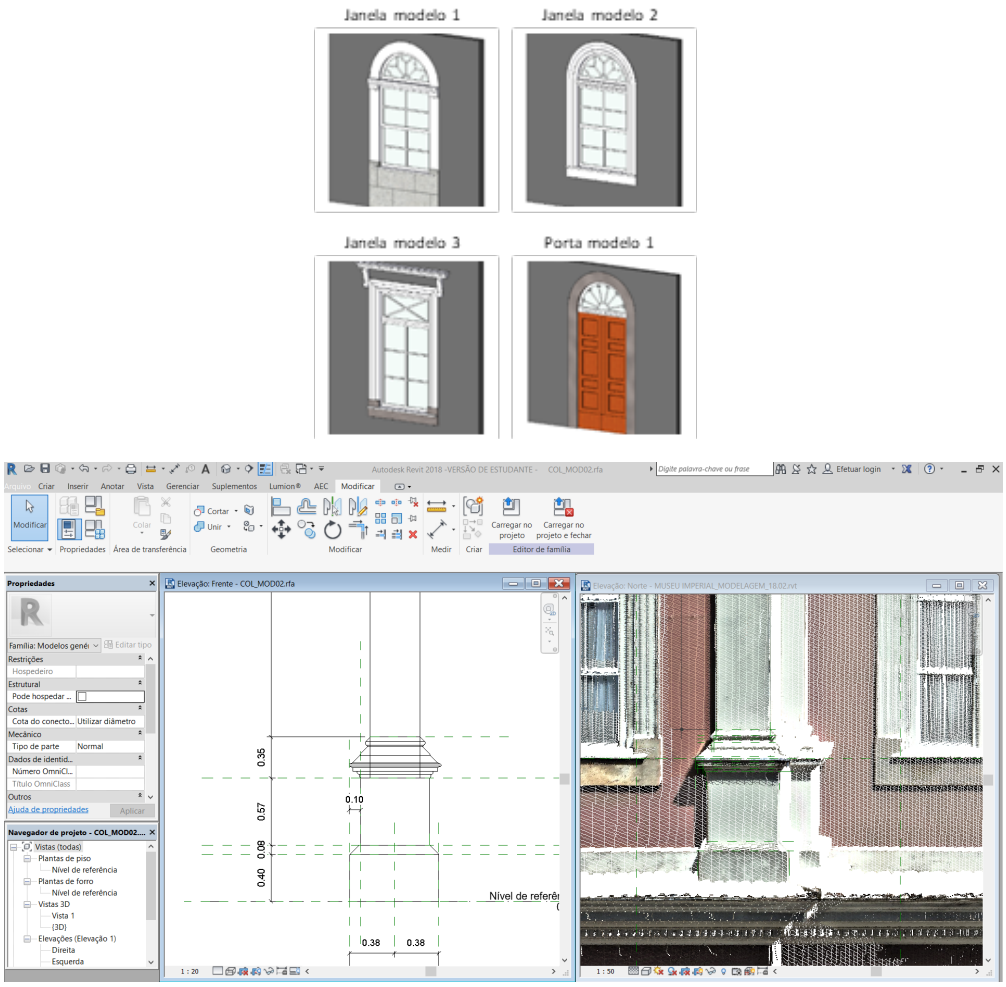


Figura 5
Famílias paramétricas que compõem a fachada posterior do Museu Imperial, criadas no *software* Revit 2018.

Concluída a execução das famílias passou-se à criação das paredes, inicialmente a fachada posterior foi dividida em níveis de piso (nível da rua, térreo e platibanda, segundo pavimento e platibanda) (Figura 6) e posteriormente foram criadas as paredes seguindo os alinhamentos definidos pela "nuvem de pontos".

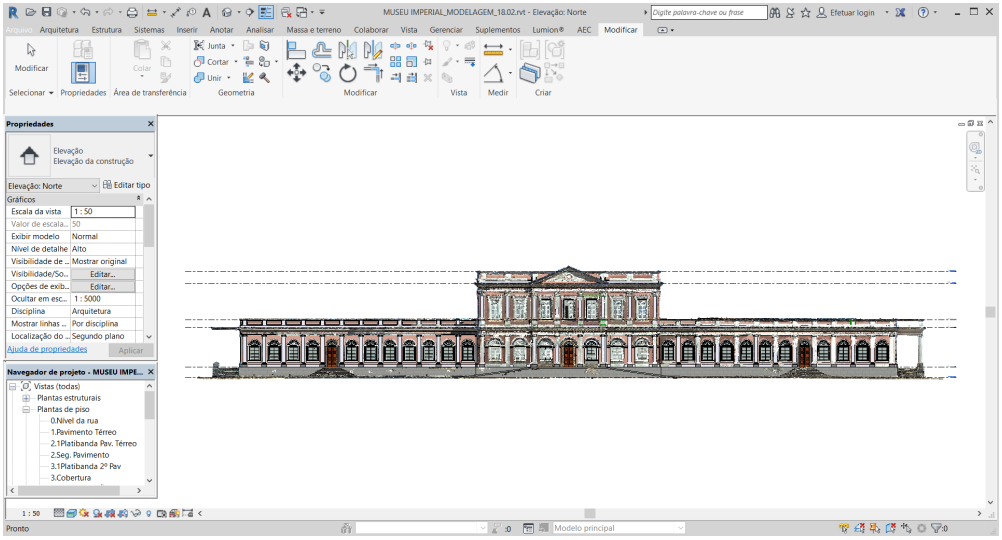


Figura 6
Fachada posterior dividida em níveis. Fusão do modelo volumétrico e a nuvem de pontos.

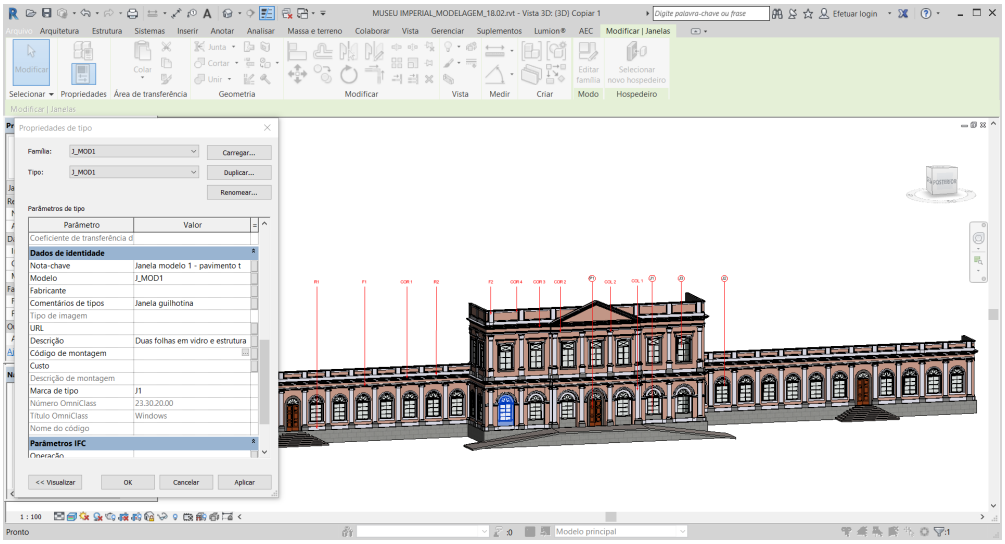


Figura 7
Modelo volumétrico da fachada posterior completo, identificação das famílias de janelas (J1, J2, J3), portas (P1), colunas (COL1, COL2), rodapés (R1, R2), frisos (F1, F2) e cornijas (COR1, COR2, CO3, COR4). Identificação das particularidades da janela modelo 1 nas propriedades de tipo.

Por fim, concluída a criação das paredes, passou-se a inserção das famílias previamente criadas nas posições definidas pelo varrimento (Figura 7). Determinada a geometria foi possível agregar campos de informações atrelados aos elementos que constituem a edificação, desta forma é viabilizada a conservação e restauro do edifício. Por conseguinte o modelo 3D se tranformou em um modelo BIM inteligente.

4. Considerações finais

Este trabalho realizou estudo exploratório demonstrando a aplicabilidade do varrimento a laser 3D em edificações históricas, com a finalidade de recriar modelo 3D utilizando nuvem de pontos. Foram apresentadas as etapas para criação do modelo 3D semanticamente orientado e as possibilidades de documentação gráfica das características morfológicas e materiais do património arquitetónico, incorporando informações e deste modo se integrando com a metodologia BIM. O trabalho exemplificou as possibilidades da integração de tecnologias digitais para preservação e manutenção de edificações existentes, com foco no património histórico.

A utilização da nuvem de pontos para execução do modelo 3D proporcionou diminuição no tempo necessário para o levantamento e permitiu a visualização e documentação gráfica de todos os detalhes arquitetónicos do edifício histórico, o que seria praticamente impossível em alguns locais da edificação. Porém notou-se que esta é apenas a fase inicial do processo, pois a elaboração do modelo sem uma representação gráfica pré-existente, baseada em trabalho manual, se mostrou passível de erros e demandou muitas horas de trabalho. Observou-se a necessidade de automatizar o processo de modelação, o que poderia ser conquistado com o uso do plug-in Scan-to-BIM da Imaginit Technologies e diminuir o tempo e aumentando a precisão da modelação.

5. Agradecimentos

A Gil Smaniotto Junior, Gerente Administrativo Financeiro da Leica Geosystems, pelo auxilio e disponibilidade.

A Miguel Menegusto, gerente de High Definition Surveying (HDS), da empresa Leica Geosystems para a América do Sul, por disponibilizar o levantamento em laser scanner 3D do Museu Imperial, bem como por disponibilizar tempo para explicar os dados do levantamento, meus sinceros agradecimentos.

Referências

[1] E. Dezen-kempter; L. Soibelman; M. Chen; A. V. Müller Filho, "Escaneamento 3D a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas", Gestão e Tecnologia de Projetos, vol. 10, pp. 113-124, julho/dezembro 2015. https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102710

[2] C. L. Canuto; M. S. Salgado, "Modelo BIM do Palácio Gustavo Capanema 1937--1945: pela preservação digital do património moderno", Gestão e Tecnologia de Projetos, vol. 15, pp. 101-116, janeiro 2020. https://doi.org/10.11606/gtp.v15i1.152823

[3] M. M. A. Tolentino, "A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Património Arquitetónico", in XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics (2016), Buenos Aires, Argentina, 2016. https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-534

[4] M, Murphy; E. McGovern; S. Pavia, "Historic building information modelling (HBIM)", Structural Survey, Vol. 27, 311-327, 2009. https://doi.org/10.1108/02630800910985108

[5] S, Garagnani, "HBIM nell'esistente storico. Potenzialità e limiti degli strumenti integrati nel recupero edilizio", Ingenio, pp. 1, 2015.

[6] R. Continenza; I. Trizio; A. Giannangeli; A. Tata, "HBIM per il progetto di restauro: l'esempio della chiesa di San Cipriano a Castelvecchio Calvisio (L'Aquila)", Disegnarecon, vol. 9, pp. 15.1-15.9, junho 2016.

[7] C. Dore; M. Murphy, "Integration of Historic Building Information Modeling and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites", in 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia: Virtual Systems in the Information Society (2012), Milão, Itália, 2012, pp.369-376. https://doi.org/10.1109/VSMM.2012.6365947

[8] M. M. A. Tolentino, "A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Património Arquitetónico", in XX Congress of the Iberoamerican

Society of Digital Graphics (2016), Buenos Aires, Argentina, 2016. https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-534

[9] N. J. Groetelaars; A. L. Amorim, "Tecnologia 3d laser scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos", in Anais do 15th Iberoamerican Congress of Digital Graphics (2011), Santa Fé, Argentina, 2011, pp. 490-494.

[10] M. Murphy; E. Mcgovern; S. Pavia, "Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol. 76, pp. 89-102, fevereiro 2013. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006

[11] A. L. Guimarães; N. J. Groetelaars; A. L. Amorim, "Modelagem a partir de nuvem de pontos e restituição fotogramétrica: estudo de caso para documentação arquitetônica", in II Seminário Nacional de Documentação do Património Arquitetónico com Uso de Tecnologias Digitais (2012), Belém, Brasil, 2012.

[12] C. L. Canuto, L. R. Moura; M. S. Salgado, "Tecnologias digitais e preservação do património arquitetónico: explorando alternativas", PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, vol. 7, pp. 252-264, 2016. https://doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647456

Metodologia para interoperabilidade BIM-FM baseada em base de dados relacional

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.41

Marina Trabulci[1], **Miguel Azenha**[2]

[1] *Elea iC, Ljubljana*

[2] *Universidade do Minho, Guimarães*

Resumo

O artigo tem como foco a metodologia e implementação BIM-FM. Está a propor uma estrutura de trabalho focada em estabelecer uma conexão bidirecional entre o modelo BIM e uma base de dados relacional em formato SQL. Também explora possibilidades para a análise de dados de forma avançada com o uso do software Power BI, para uso dos dados disponíveis durante a operação de activos de forma inteligente e interativa.

É proposto um mapa de processos detalhado para definir as operações da estrutura de trabalho num cenário de aplicação mais amplo dentro dos processos BIM, incluso a nível de interoperabilidade de software. A implementação de aplicação da estrutura de trabalho proposta no estudo de caso é para equipamentos de iluminação do edifício da biblioteca, no Campus de Azurém da Universidade do Minho, que permite demonstrar a funcionalidade e as possibilidades do mapa de processos. Sendo o objetivo demonstrar uma solução para a interoperabilidade entre sistemas, que conecta informações do modelo BIM a uma base de dados relacional, com o propósito de ser utilizado durante a fase de gestão do activo. Por fim, apresenta a análise de dados com o intuito de apoiar melhorias no desempenho das instalações. Portanto, o fluxo de trabalho proposto é escalável e expansível, oferecendo soluções para sistemas mais complexos e outras atividades relacionadas à gestão dos activos.

1. Introdução

As atividades de Gestão de Facilidades (FM) compreendem diversas áreas e competências, incluindo a Manutenção e Operação (O&M), a gestão de riscos e de projetos do activo. Sendo que a etapa de operação (O&M) representa a maior parte do ciclo de vida do activo, que corresponde a cerca de 60% do custo total do projeto [1]. Como forma de oferecer suporte a essas atividades, os processos de FM requerem informações contínuas e confiáveis sobre o activo. Com isso, de forma a dar suporte à integração da informação entre diferentes etapas do projeto, existe um crescente uso da metodologia 'Building Information Modelling' (BIM) e de seus processos colaboractivos, por todo ciclo de vida do activo. Apesar dos benefícios relacionados ao BIM poderem ser aplicados a etapas de pós-construção, a metodologia ainda é mais utilizada para as fases de design e construção se comparado com estágios de utilização [2]. Sendo um dos principais motivos da falta de adesão ao BIM-FM estar relacionado à problemas de interoperabilidade entre software BIM e sistemas FM, o que causa uma lacuna na transferência de informações entre as etapas de construção e operação [3]. Quando consideramos que o modelo BIM deve funcionar como um conjunto de dados integrados, que possui as informações necessárias a serem utilizadas pelas partes envolvidas por todas as etapas do activo [4], é essencial estabelecer um fluxo estável e confiável da informação durante todo ciclo de vida do activo [5]. Além disso, a integração entre sistemas também carece de uma conexão bidirecional, dificultando a manutenção da informação, que acaba ficando obsoleta em base de dados desconectadas em diferentes *softwares*.

Uma abordagem eficiente para o problema de interoperabilidade, é o uso de base de dados relacionais (RDBMS), que fornece um acesso eficaz e simplificado à informação BIM e simplifica a criação de relações entre elementos e consultas de dados. Nesse contexto, é importante manter a estrutura, armazenamento e atualização constante dos dados para que sirva como fonte confiável de informação durante o ciclo de vida do activo [6]. Ademais, outro ponto relevante para a implementação BIM-FM está relacionado à crescente cultura orientada por dados, fundamental para a indústria AECO/FM, de forma a integrar e dar sentido aos dados coletados ao longo do ciclo de vida do activo. Sistematizando as informações de forma gráfica, trazendo uma melhor compreensão e visualização do desempenho do activo, auxiliando nas atividades O&M e apoiando a tomada de decisões inteligentes.

1.1. Objetivos

Esse artigo em como objetivo propor uma metodologia e estrutura BIM-FM com foco em estabelecer uma conexão bidirecional entre o modelo BIM e a base de dados relacional SQL, seguido por uma proposta de análise desses dados através do software Power BI, com a intenção de utilizar a informação disponível durante a fase de operação do activo.

A intenção é que a estrutura e a metodologia propostas nesse artigo sejam escaláveis e aplicáveis a novos projetos de qualquer tipo de instalação, seus equipamentos e sistemas complexos.

i. Os seguintes subobjetivos podem ser identificados:
ii. Identificar e compreender o presente estado de aplicação BIM-FM e seus fluxos de informação correspondentes entre diferentes estágios de projeto.
iii. Desenvolver uma estrutura BIM-FM orientada à gestão de dados através de uma base de dados relacional.
iv. Aplicar a estrutura e metodologia desenvolvida em um estudo de caso (biblioteca do Campus de Azurém da Universidade do Minho).

Produzir resultados e análise crítica sobre a aplicação da metodologia proposta.

2. Metodologia e desenvolvimento do mapa de processos

A metodologia aplicada considera a extração da informação do modelo BIM para uma base de dados relacional, seguido pela análise desses dados, feita de forma a garantir a consistência da informação por todo ciclo de vida do activo. Portanto, o foco da estrutura BIM-FM proposta é definir estratégias para enriquecer a informação contida no modelo BIM em cada processo, de forma que os dados sejam confiáveis e acessíveis, para dar suporte às futuras atividades de O&M. Sendo a integração dos dados do modelo BIM com uma base de dados relacional para uso de FM como uma solução chave para armazenar e manter a informação. Essa possui uma conexão bidirecional com o modelo BIM, de forma a manter-se atualizada. Por fim, a proposta da análise desses dados através do software Power BI, uma maneira inteligente e eficiente de analisar os dados disponíveis durante a operação do activo. O fluxo descrito é representado pela figura a seguir:

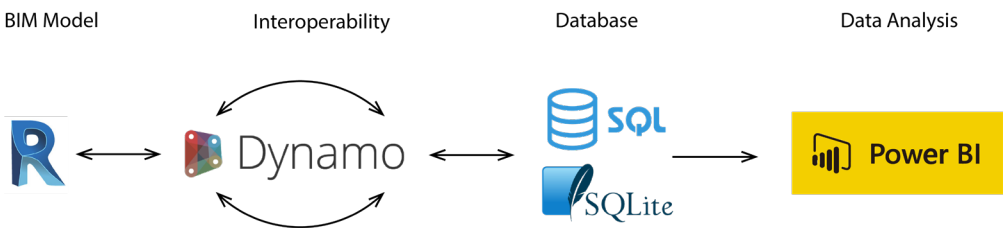


Figura 1
Fluxo entre *softwares*.

2.1. Estrutura de implementação BIM-FM

O processo para aprimorar a gestão da informação é demonstrado de maneira clara na figura 2. Que contém a ligação de cada atividade entre as partes envolvidas (stakeholders), para a implementação BIM-FM no projeto. Na fase de viabilidade, que marca o início do projeto (atividades F1 até F6), o profissional de FM participa das definições de objetivos para a implementação BIM-FM, que vão constar no 'BIM Execution Plan' (BEP). Esses requerimentos devem estar de acordo com os padrões definidos para o projeto em questão.

Durante a fase de construção do activo, o contratante é o responsável por atualizar o modelo BIM de acordo com as condições 'as-built', de forma a cumprir com os requerimentos especificados no BEP (atividade C1). Para os elementos do modelo, esses devem seguir o padrão definido durante a fase de viabilidade, para serem constantes durante todo o projeto, assim como o nível de detalhe (LOD) desses elementos. O registro das atividades O&M (atividade O4) pode ser mantido no sistema FM e atualizado na base de dados regularmente (atividade O5), para manter centralizada a informação requerida e alimentar o painel analítico (dashboard) com dados atualizados e contínuos.

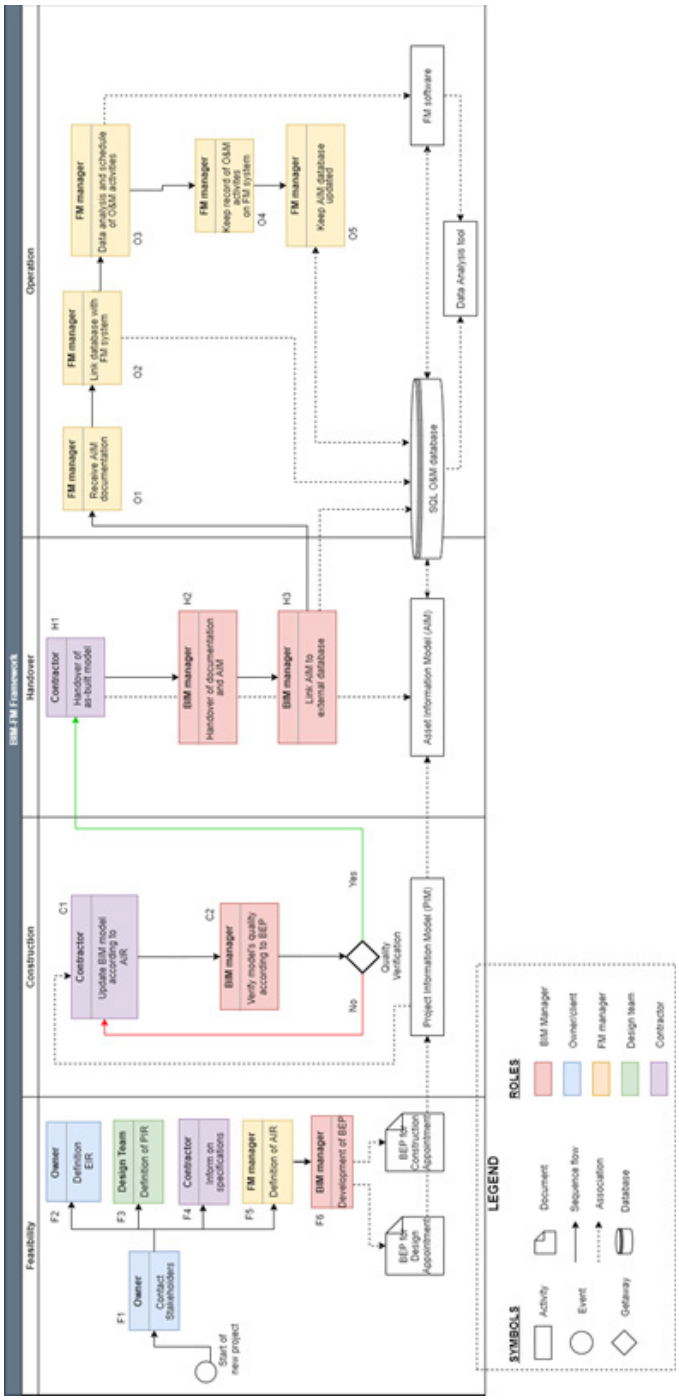


Figura 2
Estrutura do processo de implementação BIM-FM.

No processo descrito anteriormente, utiliza-se as informações não-gráficas contidas no modelo BIM. O esquema da figura 3 demonstra como os dados do modelo 'Asset Information Model' (AIM) estão estruturados. Enquanto o modelo BIM é composto por informações gráficas e não-gráficas, o sistema FM possui apenas a informação não-gráfica relacionada às atividades de O&M. Quanto a base de dados em questão, armazena-se apenas as informações não-gráficas requeridas para as ativades de manuntenção do ativo.

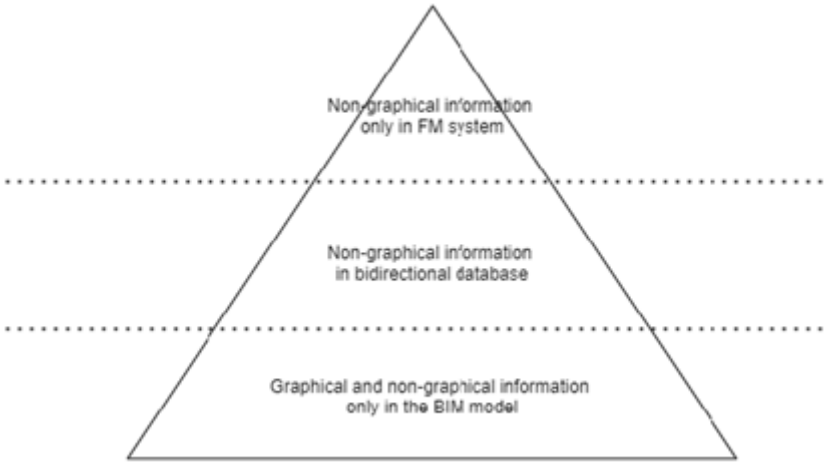


Figura 3
Esquema da estrutura da informação entre sistemas.

Para que a informação contida na base de dados do activo seja confiável, é crucial manter a base de dados central atualizada durante a fase de operação e manuntenção. Para que esse seja um processo mais fácil e eficiente, a equipe de FM deve ser capaz de atualizar a informação diretamente na base de dados ou no sistema FM adotado, para preservar a precisão e qualidade da informação. Além disso, a base de dados deve ser a principal fonte de informação sobre o activo, outros sistemas que estejam conectados devem ser alimentados diretamente do mesmo repositório de dados. Assim, evitar que diferentes fontes atualizem a informação sobre um elemento de maneira divergente, de forma manter a base de dados central como uma fonte confiável dos dados do activo.

2.2. Mapa de processos computacional

Com o intuito de desenvolver a conexão proposta, um estudo de possibilidades foi feito, onde o *software* de modelação considerado foi o Revit, devido a seu amplo uso, acessibilidade e conectividade com a ferramenta de programação visual, Dynamo. Proveniente da análise, a alternativa para desenvolver a conexão se baseia em exportar a informação necessária do Revit, conectando-a com uma base de dados estruturada SQL. Essa conexão é possível através da programação visual feita através do Dynamo, de modo que estabelece uma relação bidirecional entre o modelo BIM e base de dados. Em seguida, os dados coletados são analisados no software Power BI. O mapa de processos proposto (figura 4), descreve atividades que estão incluídas nos estágios de entrega e manutenção do activo onde, na Figura 2, fazem

parte das atividades H1 até O5. Desta forma, as atividades requeridas são compostas pelos processos de modelação, troca de dados, preenchimento da base de dados e análise dos dados. Todos apresentados na Figura 4, com o mapa de processos computacional proposto. A etapa de modelação, da atividade M1 a M3 é realizada pelo especialista BIM indicado pelo contratante, para atualizar o modelo de acordo com as condições 'as-built'. Em paralelo, as atividades D1 e D2 são executadas, criando a conexão através do Dynamo. Para estabelecer essa relação entre sistemas (atividade D2), a parte da programação em Dynamo foi desenvolvida de forma que o usuário pode escolher quais famílias (classe de objetos) e parâmetros devem ser exportados. Pois considera-se que para a parte de operação do activo, apenas alguns dados do elemento são necessários.

Assim, a estrutura e o mapa de processos proposto reduzem consideravelmente a quantidade de trabalho manual, principalmente quando comparado a outros processos tradicionais para transferir informações do modelo BIM para um sistema FM. Além de otimizar a consulta e entrada de dados do activo na base de dados. Ao implementar uma conexão bidirecional da base de dados com o modelo BIM, gera-se uma abordagem mais eficiente para a atualização da informação diretamente na base de dados, tendo em vista que tal atividade não requer conhecimento em software de modelação BIM.

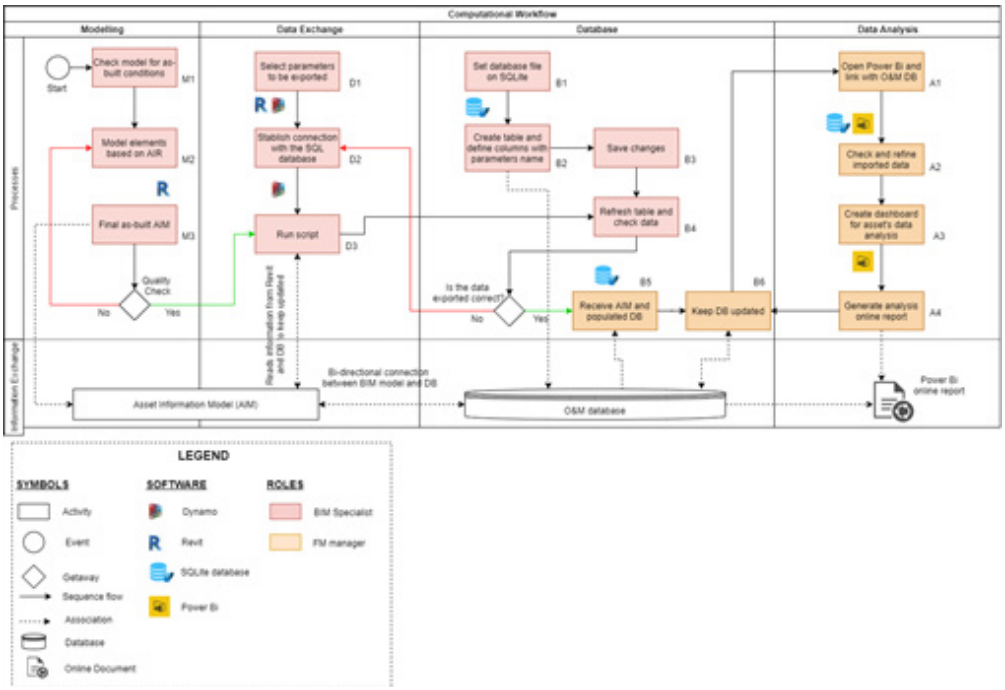


Figura 4
Fluxo de processos computacional.

2.3. Análise dos dados

Como parte final do processo proposto, a integração da base de dados com o software Power BI, correspondendo às atividades A1 até A4 na Figura 4. Deve-se estabelecer a conexão do Power BI com a base de dados relacional, onde a informação é

importada para o software de análise de dados, que mantém uma integração unilateral com a base de dados, podendo-se alterar os dados no arquivo original e atualizar a conexão com o painel no Power BI. Os dados importados requerem então uma etapa de refinamento e seleção do que é útil e necessário de ser visualizado no painel e no relatório (A2), que pode ser feito através do 'query' no software. Assim, os dados selecionados são adicionados ao painel interativo, que serve como suporte às decisões relacionadas às atividades de operação e manutenção, de acordo com os requisitos de desempenho do activo.

Desse modo, o processo proposto maximiza a integração de dados entre BIM e FM, que utiliza SQL como base de dados central, o qual pode ser facilmente integrado com software de análise de dados e outros sistemas FM. Para estabelecer assim uma integração automática e uma forma acessível de manter os dados atualizados. Sucessivamente, a conexão dos dados BIM com a ferramenta de análise dos dados fornece um significativo sistema de suporte para alavancar o uso das informações disponíveis para uma O&M mais eficaz e precisa.

A estrutura de processos apresentada para integração de dados entre modelo BIM e software FM utiliza um modelo digital 'as-built' para manutenção e otimização dos activos. Tal metodologia se relaciona com a criação de Digital Twins, tecnologia que está cada vez mais presente na indústria AECO-FM e promove a cultura baseada em dados, tornando-se necessária para tomada de decisões inteligentes e manutenção de 'Smart Buildings'.

3. Estudo de caso

No presente estudo de caso é aplicado o processo descrito no capítulo anterior com o propósito de demonstrar sua viabilidade em um contexto BIM-FM. O projeto utilizado é o edifício da biblioteca (#13), localizado no campus de Azurém da Universidade do Minho, na cidade de Guimarães, Portugal. O edifício foi inaugurado em 2016, sendo composto por 7 pavimentos, contendo um vasto número de espaços e estações de estudo que estão concentrados nos pavimentos 3, 4 e 5. O modelo BIM do edifício utilizado nesse estudo foi gentilmente fornecido pelo grupo de estudantes do módulo BIM do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho. O estudo em questão focou nos equipamentos de iluminação, elementos que essencialmente estão presentes em todos os tipos de activos.

Para a implementação do processo, foram consideradas as atividades demonstradas no mapa de processos (Figura 4), iniciando na atividade C1, a atualização do modelo BIM de acordo com as condições 'as-built', até a atividade O3 da análise dos dados. Considera-se que o activo para esse estudo já está na fase de operação, as etapas de viabilidade e definições de projeto (atividades F1 até F6) não são empregues neste estudo.

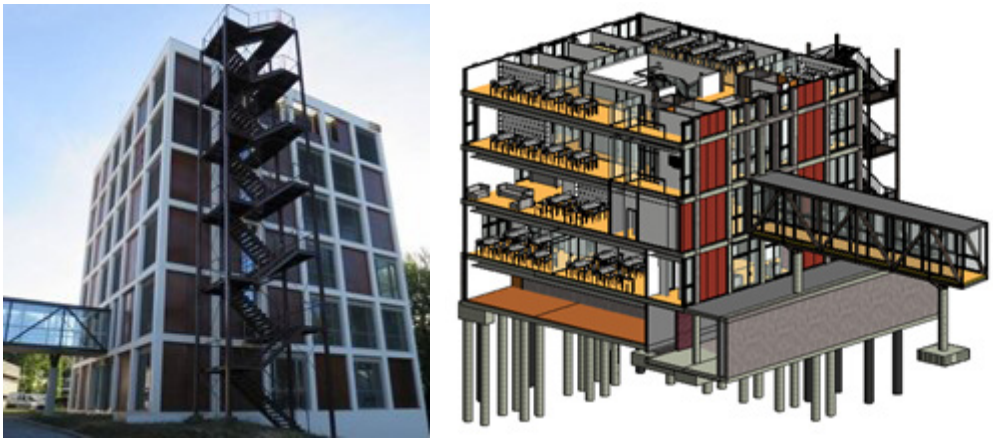


Figura 5
À esquerda o edifício da biblioteca construído, e à direita o modelo BIM do mesmo.

Os equipamentos de iluminação foram modelados nos pavimentos 3 e 4, seguindo o padrão para os elementos conforme definido pelo Open BIM Object Standard (OBOS) [7]. Assim como foram definidos os parâmetros que devem estar contidos em cada elemento de acordo com o que está determinado no 'Property Set' *(PSet_)* do esquema IFC 4 para a manutenção de facilidades e activos [8]. Foi então configurada a ferramenta no Dynamo, selecionando os parâmetros a serem exportados, e estabelecida a conexão com a base de dados SQL. Ao rodar o script e atualizar o arquivo da base de dados, a tabela foi povoada com a informação extraída do modelo BIM. A conexão bilateral foi testada ao trocar na base de dados povoada o valor do parâmetro "WarrantyStartDate" para uma nova data. Ao atualizar novamente o script no Dynamo, e procurar pelo elemento no modelo Revit, utilizando seu número de identificação (ID), foi possível observar que o valor foi atualizado de acordo com a base de dados, provando a bilateralidade da ferramenta.

Como último passo do estudo de caso, a base de dados foi conectada ao Power BI, onde a informação foi filtrada e selecionada para ser apresentada de forma interativa e visual no modelo de relatório desenvolvido através de gráficos e tabelas, como é demonstrado na figura 6 abaixo.

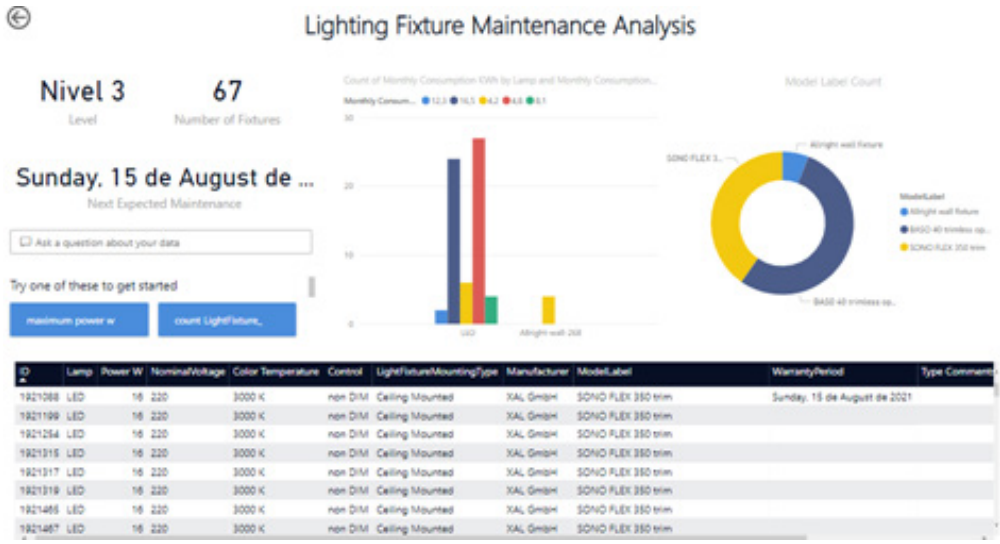


Figura 6
Exemplo de *dashboard* interativo Power BI.

4. Conclusão

O presente artigo foi desenvolvido com o objetivo de propor uma estrutura orientada para a integração entre o modelo BIM e um sistema FM através de uma base de dados relacional, com a possibilidade de ser realizado análise de dados de forma integrada a gestão de informação dos activos. Com isso, as principais conclusões desse artigo são:

- Foi possível implementar a interconexão entre um software de modelação (Revit) e um base de dados relacional (SQL) desenvolvido através de linguagem de programação visual (Dynamo), o qual pode ser expandido para um maior número de parâmetros FM, relacionados com a informação não gráfica de um elemento.
- A base de dados relacional SQL proporciona uma interface estruturada povoada com as informações requeridas e é capaz de funcionar de forma bidirecional através da conexão estabelecida com o Dynamo, o qual a interconectividade permite atualizar informações não gráficas e não relacionais de um elemento BIM.
- A sistematização da estrutura desenvolvida no formato de um mapa de processos, permite uma indicação precisa sobre a troca de informação entre as partes interessadas, assim como as ferramentas envolvidas, com o potencial de ser aplicada em projetos de alta complexidade.
- Foi possível confirmar a viabilidade em estabelecer os painéis interativos para análise da informação no Power BI, integrado à base de dados SQL em tempo real. Essa capacidade de interação com os dashboards de análise de dados pode se tornar ainda mais potentes quando integrados com outras informações vindas do sistema FM, auxiliando no uso inteligente de data e em tomadas de decisões para assim melhorar a performance do activo.
- De forma geral, a estrutura proposta é escalável, permitindo ser expandida para ser utilizada em qualquer tipo de facilidade e elementos.
- É observado, portanto, que a aplicação da estrutura requer uma definição inicial das informações requeridas para FM, estabelecendo o fluxo de trabalho para manter a qualidade e precisão do modelo BIM conectado à base de dados, o qual deve ser atualizado regularmente durante a operação do activo.

4.1. Sugestões futuras

A escalabilidade e a expansividade da estrutura proposta podem ser ainda mais exploradas, onde pode-se focar na área de programação para que a ferramenta de conexão bidirecional seja desenvolvida diretamente na API do software de modelação Revit. Dessa maneira, dispensando o uso do Dynamo e a necessidade de recarregar o modelo para atualizar a informação da base de dados. Além disso, pesquisas futuras podem focar na integração entre a base de dados e ferramentas de análise conectadas com sensores IoT instalados pela facilidade, permitindo assim atualizações

constantes e programadas com informações precisas sobre a performance do activo. Também podendo aperfeiçoar a interoperabilidade para que a estrutura proposta para ser baseada no esquema IFC, com a intenção de promover uma maior integração na troca de dados. Dessa maneira o painel com informações do activo estaria sempre sendo alimentado com novos dados para dar suporte à tomada de decisão por parte da operação da facilidade.

Ademais, o potencial da base de dados relacional de ser ainda mais potente com a combinação de diferente conjunto de dados, incluindo não apenas o modelo BIM, como também informações do sistema FM com ordem de pedidos, lembretes, manutenção dos espaços etc., tudo isso integrado ao painel analítico, trazendo interpretação e sentido dos dados adquiridos.

Agradecimentos

Acredito que é essencial agradecer ao mestrado BIM A+, pois foi durante o curso que desenvolvi a pesquisa apresentada nesse artigo. Aos professores do curso, em especial meu orientador da tese de mestrado e desse artigo, Prof. Miguel Azenha. Também a Unidade de Investigação ISISE e ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Referências

[1] Hu, Z.-Z., Tian, P.-L., Li, S.-W., Zhang, J.-P., 2018. BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase. Advances in Engineering Software 115, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2017.08.007.

[2] Pishdad-Bozorgi, P., Gao, X., Eastman, C., Self, A.P., 2018b. Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). Automation in Construction 87, 22-38. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.004.

[3] Talebi, S., 2014. Exploring advantages and challenges of adaptation and implementation of bim in project life cycle.

[4] Ozturk, G.B., 2020. Interoperability in building information modeling for AECO/FM industry. Automation in Construction 113, 103122. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103122.

[5] Nicał, A.K., Wodyński, W., 2016. Enhancing Facility Management through BIM 6D. Procedia Engineering 164, 299-306. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.623. [6] Gusakova, E., 2018. Development of high-rise buildings: digitalization of life cycle management. E3S Web Conf. 33, 03063. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303063.

[7] OBOS, 2018. OBOS – The Open BIM Object Standard v1.0.

[8] Industry Foundation Classes (IFC) [WWW Document], 2020. . BuildingSMART. URL https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry--foundation-classes/ (accessed 3.4.20).

Digital Twin para a gestão inteligente de edifícios: o caso do Smart Office do Built Colab

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.42

Pedro Nogueira Martins[1], **Gonçalo Pereira**[1], **Luís Sanhudo**[1], **António Aguiar Costa**[1]

[1] *BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal*

Resumo

Aliando a metodologia *Building Information Modelling* (BIM) à tecnologia *Internet of Things*, é possível obter uma versão digital do ambiente construído, denominada de *Digital Twin*. Este "gémeo digital" faz parte de um conjunto de tecnologias promissoras que atuam na transição digital do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), com as quais é possível recolher e analisar informação acerca do edificado existente, permitindo a realização, por exemplo, de simulações e análises dinâmicas que apoiem a otimização do mesmo.

Com o objetivo de divulgar e impulsionar a adoção desta tecnologia, o presente artigo foca o desenvolvimento de um *Digital Twin* de um escritório. A metodologia adotada envolve o levantamento por *laser scanning* dos diversos espaços, possibilitando a criação de um modelo BIM com o nível de detalhe adequado ao objetivo final – a monitorização e análise energética do escritório. Paralelamente a este processo, para que o modelo BIM seja atualizado constantemente, é necessário recorrer à instalação de sensores e à respetiva modelação dos seus objetos digitais. O artigo termina com a demonstração da interface gráfica do utilizador, gerada num ambiente virtual 3D, que apresenta as informações recolhidas pelos sensores de forma interativa.

1. Introdução

Com o objetivo de atingir múltiplas metas de sustentabilidade nacionais e internacionais, o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem apresentado, nos últimos anos, uma crescente preocupação com a reabilitação energética do edificado existente [1]. Paralelamente, o impacto e importância da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) têm vindo a aumentar de forma transversal a todo o setor da Construção, tornando-a numa das peças centrais do mesmo. Com a progressiva sobreposição de ambas as áreas, recentes estudos propõem a adoção desta metodologia como resposta aos atuais desafios de sustentabilidade, aliando-a a tecnologias como a *Internet of Things* (IoT) e o *Digital Twin* [2] – tecnologias que demonstram, de forma similar ao BIM, um crescente interesse por parte do setor AEC [3].

Através da integração destas tecnologias, é possível desenvolver um "gémeo digital" do ambiente construído, garantindo uma ligação em tempo real entre o modelo BIM e o edificado. Esta ligação pode ser utilizada para a recolha, geração e visualização de dados relativos, por exemplo, a um edifício, permitindo uma melhor gestão e monitorização do mesmo. Assim, é possível realizar uma melhor análise dos dados obtidos, levando a um melhor apoio à decisão e, posteriormente, à otimização da eficiência energética do edificado.

Com o objetivo de analisar em maior detalhe estas tecnologias e, em simultâneo, disseminar os seus benefícios e impulsionar a sua adoção, o presente artigo aborda a criação de um *Digital Twin* de um escritório, passando pelo levantamento da geometria, seguido da sua modelação, instalação de sensores e, por fim, desenvolvimento de um visualizador e sistema de IoT que suportem o *Digital Twin* e facilitem a interação com o mesmo.

O presente artigo encontra-se estruturado da seguinte forma: na Secção 2 é examinado o estado da arte relevante à temática abordada; na Secção 3 é descrita a metodologia utilizada para o desenvolvimento de um *Digital Twin*; na Secção 4 é detalhado o caso de estudo desenvolvido; e, por fim, na Secção 5 são apresentadas as conclusões obtidas.

2. Estado da Arte

O *Digital Twin* pode ser definido como a réplica virtual de um objeto ou ambiente físico (como um edifício, infraestrutura ou cidade), no qual as componentes físicas e virtuais estão interligadas, em tempo real. Assim, um *Digital Twin* é constituído por pelo menos três componentes: (1) o ambiente físico; (2) o modelo digital; e (3) a ligação entre ambos. Esta última é tipicamente realizada através da instalação de sensores que, quando suportados por um sistema IoT, recolhem e transmitem dados de forma constante entre os dois [4, 5]. Por sua vez, o IoT pode ser definido como a interligação de dispositivos de deteção e atuação, que possibilitam a partilha de

informações entre plataformas por meio de uma estrutura unificada, criando assim um ambiente operacional comum para o desenvolvimento de aplicações inovadoras.

As primeiras referências ao conceito de *Digital Twin* surgiram em 2002 [6]; contudo, devido à imaturidade das tecnologias subjacentes a este conceito, a sua primeira aplicação prática foi desenvolvida apenas em 2010, pela NASA, com o intuito de melhorar a simulação de modelos físicos de naves espaciais. Nas décadas seguintes, o rápido desenvolvimento da tecnologia IoT, aliado ao exponencial crescimento do número de dispositivos "*online*" [7], transformou esta tecnologia numa solução economicamente viável [8] – generalizando a sua adoção.

O primeiro setor a adotar esta tecnologia de forma generalizada foi o da manufatura, com o objetivo de reduzir falhas e garantir a qualidade dos seus produtos [9]. No setor da Construção, as aplicações mais comuns do *Digital Twin* têm-se centrado essencialmente na fase de operação e manutenção [10]. Contudo, de uma forma geral, todas as fases do ciclo de vida do edifício já apresentam alguma investigação focada no *Digital Twin*, nomeadamente:

- utilização da informação recolhida em *Digital Twins* para otimização de soluções futuras, tanto ao nível do desempenho energético do edifício [11], ao nível do comportamento estrutural de soluções construtivas [12], ou até mesmo ao nível do planeamento de cidades [13];
- monitorização e gestão automática de tarefas de construção através da sua adequada sensorização [14], permitindo a atualização do progresso em obra, a atualização de equipas existentes, a geração automática de documentação, entre outros;
- melhoria das condições de segurança e saúde em obra através da monitorização, em tempo real, da postura, fadiga e capacidade de concentração dos trabalhadores [15], criando alertas quando são detetadas situações de risco;
- realização de manutenção preditiva [10] e deteção de anomalias [16], tendo por base os dados recolhidos no *Digital Twin* do edifício;
- otimização do conforto e da eficiência energética de um edifício através do controlo dos sistemas de iluminação e climatização do mesmo [17], tendo por base múltiplas fontes de informação como os dados climáticos da envolvente; a temperatura e humidade interior; os mapas de ocupação; e comportamento dos utilizadores – tudo obtido e armazenado com o suporte de tecnologia *Digital Twin*;
- análise e simulação de um edifício tendo por base os dados armazenados no seu *Digital Twin*, com o objetivo de melhorar o suporte à decisão em projetos de reabilitação; reconstrução, expansão, demolição, entre outros [18].

Frequentemente, estes estudos são suportados por sistemas de Inteligência Artificial que permitem a automatização de todo o processo [10]. Para mais informação sobre outras possíveis aplicações, ver [19], [20].

Tendo por base estes estudos, a criação de um *Digital Twin* divide-se em três componentes: (1) criação de um modelo BIM; (2) recolha de dados através de sensores IoT; (3) integração de dados num visualizador. Neste último ponto, podem ser seguidas diversas abordagens que se diferenciam principalmente na dificuldade de implementação e na clareza de visualização dos dados. As principais abordagens utilizadas na integração de dados IoT e modelos BIM são:

- Integração direta dos dados na ferramenta de modelação BIM [22] – neste caso, a integração e visualização dos dados é totalmente realizada na ferramenta onde o modelo foi desenvolvido, sendo utilizados os parâmetros dos objetos digitais que representam os sensores para a apresentação dos dados. A ligação à base de dados pode ser feita através da *Application Programming Interface* (API) da ferramenta de modelação;
- Integração através de motores de jogo [23] – neste caso, a integração e visualização é feita em programas externos à ferramenta de modelação BIM e permite a apresentação dos dados de forma mais interativa e dinâmica;
- Integração *cloud-based* [24] – neste caso, toda a integração, visualização e análise dos dados é feita diretamente no *browser* através de aplicações baseadas em serviços *cloud*.

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais vantagens e desvantagens das várias abordagens referidas. Conforme identificado nesta tabela, existem mais vantagens na adoção da metodologia que utiliza serviços *cloud-based*, sendo que estes apresentam frequentemente soluções otimizadas para a criação de *Digital Twins* (e.g. *Azure Digital Twins*, *AWS IoT TwinMaker*). Apesar da abordagem através de motores de jogo também ser uma alternativa viável, esta exige maior investimento na sua programação e configuração, uma vez que ainda não existem soluções *off-the-shelf* para o desenvolvimento de *Digital Twins*.

A configuração em serviços *cloud-based* segue, genericamente, os seguintes passos:

1. Garantir uma subscrição do serviço *cloud*, caso necessário, obtendo as respetivas credenciais necessárias para autenticação nas aplicações posteriormente criadas;
2. Configurar os dados dos sensores instalados (por norma, em formato ".json"), indicando as propriedades base de cada sensor, como um código de identificação, as propriedades medidas pelo sensor e a sua posição no espaço;
3. Configurar a ligação dos dados lidos nos sensores a uma base de dados de séries temporais;
4. Configurar a leitura dos dados provenientes da base de dados e associá-los aos objetos que os representam na interface gráfica.

Tabela 1
Diferenças nas abordagens de integração e visualização dos dados.

	Vantagens	Desvantagens
Ferramenta de modelação BIM (ex: *Autodesk Revit*)	• Simples de executar • Permite edição do modelo BIM	• Podem ocorrer edições acidentais do modelo BIM • Pesquisa e visualização dos dados não é imediata e clara • Não permite a visualização histórica dos dados • Solução não é OpenBIM
Motores de jogo (ex: *Unity3D*)	• Solução OpenBIM e multiplataforma • Altamente personalizável • Visualização clara dos dados • Representação gráfica dos dados históricos	• Exige um elevado tempo de programação e configuração • Integração de dados de difícil configuração • Não permite edição direta do modelo BIM
Serviços *cloud-based* (ex: *Autodesk Forge*)	• Solução OpenBIM e *web* • Integração dos dados de simples configuração • Visualização clara dos dados • Representação gráfica dos dados históricos dos sensores de um determinado espaço	• Exige conhecimentos de desenvolvimento *web* • Não permite edição direta do modelo BIM

3. Metodologia

Como indicado na Secção 1, o presente artigo aborda a criação de um *Digital Twin* de um escritório. A Figura 1 apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento deste *Digital Twin*, desde o levantamento da geometria ao desenvolvimento de um visualizador que permita uma fácil interação com o mesmo.

A primeira componente, "Scan-to-BIM", está relacionada com o processo de levantamento da geometria do edifício. Este é realizado através de *laser scanning*, do qual resultam modelos de nuvens de pontos que são, posteriormente, tratadas e enviadas para *software* de modelação BIM onde são utilizadas como referência para a modelação. O nível de detalhe e informação (*Level of Information Need)* do modelo a utilizar devem depender da finalidade do Digital Twin. Ver [21] para mais informação o processo "Scan-to-BIM".

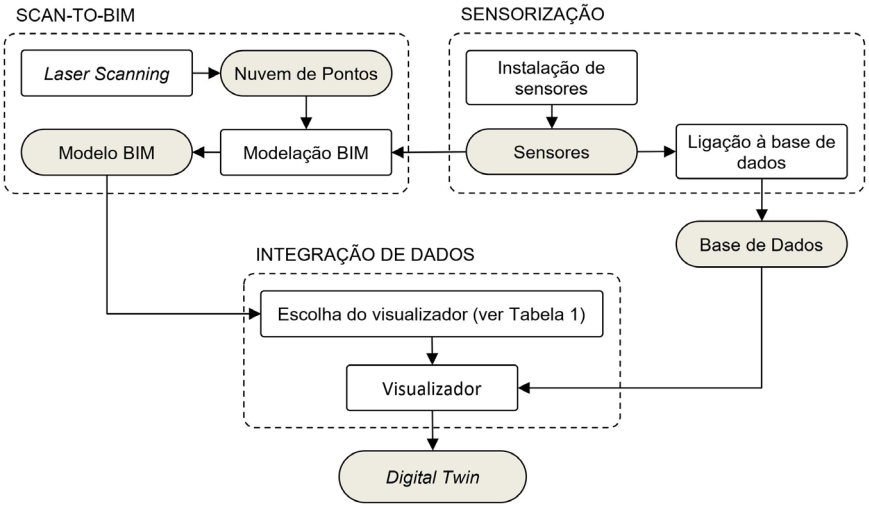


Figura 1
Esquema da metodologia utilizada no desenvolvimento do *Digital Twin*.

A segunda componente refere-se à sensorização do edifício e inclui a instalação de sensores, a modelação dos objetos BIM correspondentes, e a ligação da informação recolhida pelos mesmos a uma base de dados de séries temporais (*timeseries*). Esta tipologia de base de dados é otimizada para a inserção de dados a cadências elevadas e inclui mecanismos para comprimir dados mais antigos, os quais tipicamente não necessitam de taxas de amostragem elevadas.

A terceira e última componente faz a integração dos dados recolhidos pelos sensores no modelo BIM e apresenta-os no visualizador. Para a correta integração dos dados, é necessário primeiro adicionar parâmetros aos objetos BIM dos sensores que correspondam às propriedades do sensor físico. O segundo passo corresponde à leitura dos valores na base de dados e à sua apresentação ao utilizador final. Neste ponto, podem ser seguidas diversas abordagens, discutidas na Secção 2, sendo que para este artigo foi utilizada a abordagem *cloud-based*.

Tendo finalizado a configuração na plataforma, é possível obter o resultado final do *Digital Twin*. Na Secção 4 serão apresentados o caso de estudo e o aspeto final da interface gráfica desenvolvida.

4. Caso de Estudo

O presente caso de estudo focou a sede/escritório do laboratório colaborativo *BUILT CoLAB*. O escritório conta com aproximadamente 210 m^2, estando dividido em sete áreas: espaço de trabalho *open space*; sala de reuniões; zona comum; copa; dois gabinetes privativos; e duas casas de banho.

Seguindo a metodologia apresentada na Secção 3, a aquisição da geometria do escritório e a sua posterior modelação BIM foi realizada através de um processo "Scan-to-BIM". O levantamento por *laser scanning* foi realizado com o *laser scanner Leica BLK360*, sendo necessárias 20 estações para a geração de uma nuvem de pontos de elevada densidade e precisão. O tratamento das nuvens recolhidas foi realizado com o auxílio do *software Autodesk ReCap* e incluiu a sua dizimação, limpeza, registo e unificação [21]. Tendo por base o modelo da nuvem de pontos, a modelação BIM foi realizada com o *software Autodesk Revit*. O nível de detalhe geométrico do modelo foi elevado, enquanto que a informação alfanumérica se restringiu às características dos sensores colocados e das zonas existentes. A Figura 2 apresenta o *laser scanner* utilizado e a nuvem de pontos resultante. As Figuras 3 e 4 exibem, respetivamente, a vista 3D e a vista em planta do modelo BIM desenvolvido.

Figura 2
Laser scanner utilizado (à esquerda) e nuvem de pontos obtida (à direita).

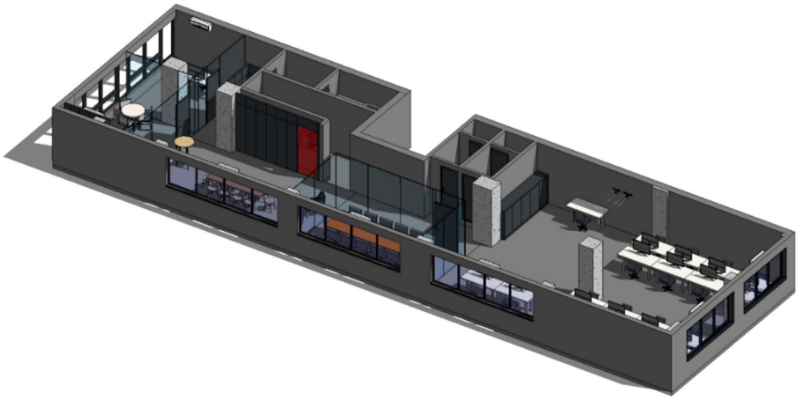


Figura 3
Modelo BIM desenvolvido tendo, por base, a nuvem de pontos obtida.

Figura 4
Planta do modelo BIM do escritório, por zonas.

Conforme indicado na metodologia, antes da modelação BIM procedeu-se à sensorização dos espaços, estando os sensores instalados também representados no modelo final (Figura 5). Uma vez que se trata de um estudo preliminar, foram instalados apenas dois sensores, um na zona comum e outro na zona de trabalho *open space*. Estas localizações foram escolhidas por apresentarem horários de permanência e percentagens de ocupação distintas, o que torna a sua análise relevante do ponto de vista da monitorização do conforto térmico e da ventilação natural e mecânica destes espaços. Os sensores instalados foram os *Texas Instruments HDC1080*, capazes de recolher dados referentes à temperatura e humidade relativa. As respetivas precisões de leitura são de ±0.2ºC e ±2%.

Os dados recolhidos são transmitidos para uma base de dados de séries temporais por *Wi-Fi*, através do dispositivo *Espressif ESP32*, incluído no sensor. A base de dados escolhida foi a *InfluxDB*, que é *open-source* para esta tipologia de informação.

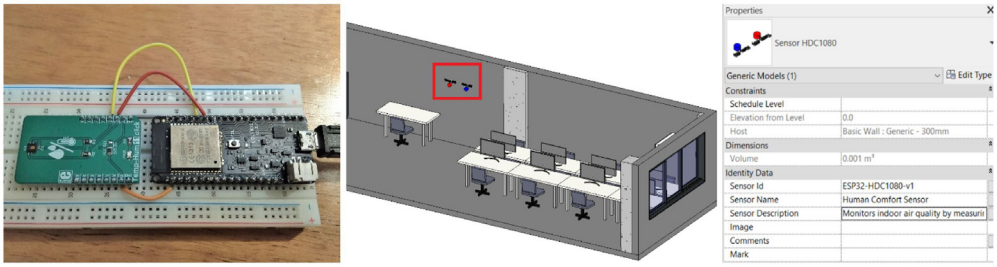


Figura 5
Sensores instalados (à esquerda) e respetivos objetos BIM (à direita) devidamente posicionados no modelo final.

Com o modelo BIM criado e a base de dados conectada aos sensores, a próxima etapa passou pela integração destes componentes num serviço *cloud-based*. O serviço escolhido foi a plataforma *Autodesk Forge*, uma vez que está otimizada para o desenvolvimento de *Digital Twins*. Após importação do modelo na plataforma, foi obtido um código *Uniform Resource Name* (URN) que passou a identificar o modelo no serviço de armazenamento de objetos desta plataforma. Posteriormente, foram seguidas as configurações de serviços *cloud-based* identificadas na metodologia. Neste caso, a integração dos dados na plataforma *Autodesk Forge* foi feita através de duas classes: *InfluxGateway* e *InfluxAdapter*. A primeira obtém os dados provenientes da base de dados, enquanto a segunda os apresenta no *browser*. Por fim, foi utilizada a extensão *Data Visualization*, da API *Forge Viewer*, para o desenvolvimento da interface e estabelecimento das respetivas funcionalidades, nomeadamente:

- Visualização tridimensional do modelo, incluindo ferramentas de navegação como movimentação e inclinação da câmara, alternação entre vista ortográfica e primeira-pessoa, explosão do modelo, entre outras;
- Listagem, por categoria, dos elementos presentes no modelo;
- Listagem dos sensores existentes;
- Representação de sensores através de ícones bidimensionais (*sprites*), possibilitando a visualização da temperatura e humidade atual, bem como das respetivas curvas de valores históricos;
- Navegação através de uma linha temporal interativa e de um menu de calendário, permitindo não só a escolha de uma data específica para análise de dados, como também a escolha de um intervalo de tempo para análise da sua evolução;
- Visualização dos dados recolhidos através de painéis e gráficos interativos, tanto de valores atuais como do seu historial;
- Ilustração dos dados através de mapas de calor e de densidades com respetiva legenda, melhorando a experiência do utilizador através da interpretação e análise facilitada da informação recolhida.

Algumas destas funcionalidades encontram-se representadas na Figura 6, que ilustra a interface desenvolvida para o visualizador. Nesta figura é ainda possível observar um *QR code* que remete para um vídeo (https://youtu.be/7tTdeGEiDYs) no qual são apresentadas, com maior clareza, as funcionalidades já desenvolvidas para o visualizador.

Figura 6
Interface gráfica do visualizador e *QR code* para acesso ao vídeo do visualizador.

5. Conclusões e trabalhos futuros

O presente artigo teve como objetivo examinar e disseminar algumas das capacidades e oportunidades inerentes à tecnologia *Digital Twin*. Este tópico foi introduzido como uma solução à crescente necessidade de melhorar a eficiência energética dos edifícios; contudo, tratando-se de uma primeira abordagem, o artigo limitou-se a desenvolver e aplicar uma metodologia para a criação de *Digital Twins*.

Ao longo do artigo, esta metodologia foi examinada em detalhe, abrangendo todo o processo de criação do "gémeo digital", desde a aquisição da geometria do edifício até ao desenvolvimento de um visualizador, passando pela modelação BIM, instalação de sensores e criação de uma base de dados. A metodologia foi aplicada num caso de estudo focado na sede/escritório do *BUILT CoLAB*, Porto, permitindo a validação da metodologia e das ferramentas desenvolvidas. Como apresentado no vídeo disponibilizado, o resultado final da aplicação de metodologia permite uma expedita visualização e interação com os sensores e respetivos dados recolhidos, pelo que o caso de estudo foi considerado um sucesso.

Como trabalhos futuros, estão já planeados múltiplos desenvolvimentos que se podem dividir em três vertentes distintas:

- Monitorização alargada do escritório, através do aumento em número e tipologia dos sensores instalados (e.g. sensores de movimento, medição de níveis de CO_2, medição do consumo energético, medição de indicadores de conforto térmico interior);

- Integração de sistemas de controlo ativo no visualizador, permitindo a utilizadores credenciados o controlo de equipamentos e sistemas como iluminação, ar condicionado e acesso (abertura/fecho de portas);
- Desenvolvimento de um sistema de otimização inteligente (*smart office*) baseado em Inteligência Artificial, que promova a melhoria da eficiência energética do edifício através, por exemplo, do controlo automático da ventilação mecânica.

6. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

[1] R. Pacheco, J. Ordóñez, and G. Martínez, "Energy efficient design of building: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, Aug. 2012.

[2] T. O. Olawumi and D. W. M. Chan, "Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts", *Sustainable Cities and Society*, vol. 40, Jul. 2018.

[3] D. G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, and M. Rashidi, "Digital twin application in the construction industry: A literature review", *Journal of Building Engineering*, vol. 40, Aug. 2021.

[4] A. Akanmu, C. Anumba, and J. Messner, "Critical review of approaches to integrating virtual models and the physical construction", *International Journal of Construction Management*, vol. 14, Oct. 2014.

[5] M. Grieves and J. Vickers, "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems", 2017.

[6] M. Grieves, "Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication", Mar. 2015.

[7] W. Yaici, K. Krishnamurthy, E. Entchev, and M. Longo, "Survey of Internet of Things (IoT) Infrastructures for Building Energy Systems", Jun. 2020.

[8] F. Jiang, L. Ma, T. Broyd, and K. Chen, "Digital twin and its implementations in the civil engineering sector", *Automation in Construction*, vol. 130, Oct. 2021.

[9] A. N. Nasaruddin, T. Ito, and T. B. Tuan, "Digital Twin Approach to Building Information Management", *The Proceedings of Manufacturing Systems Division Conference (2018)*, vol. 2018, 2018.

[10] S. H. Khajavi, N. H. Motlagh, A. Jaribion, L. C. Werner, and J. Holmstrom, "Digital Twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings", *IEEE Access*, vol. 7, 2019.

[11] M. Eguaras, M. Vidaurre-Arbizu, and C. Martín-Gómez, "Simulation and evaluation of Building Information Modeling in a real pilot site", *Applied Energy*, vol. 114, Feb. 2014.

[12] G. Angjeliu, D. Coronelli, and G. Cardani, "Development of the simulation model for Digital Twin applications in historical masonry buildings: The integration between numerical and experimental reality", *Computers & Structures*, vol. 238, Oct. 2020.

[13] G. Schrotter and C. Hürzeler, "The Digital Twin of the City of Zurich for Urban Planning", *PFG – Journal of Photogrammetry Remote Sensing and Geoinformation Science*, vol. 88, Feb. 2020.

[14] J. Matthews, P. E. D. Love, S. Heinemann, R. Chandler, C. Rumsey, and O. Olatunj, "Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction," *Automation in Construction*, vol. 58, Jul. 2015.

[15] D. Wang, J. Chen, D. Zhao, F. Dai, C. Zheng, and X. Wu, "Monitoring workers' attention and vigilance in construction activities through a wireless and wearable electroencephalography system", *Automation in Construction*, vol. 82, Mar. 2017.

[16] Q. Lu, X. Xie, A. K. Parlikad, and J. Schooling, "Digital Twin-Enabled Anomaly Detection for Built Asset Monitoring in Operation and Maintenance", *Automation in Construction*, vol. 118, May 2020.

[17] M. Schmidt, M. V. Cano, A. Schülke, K. Macek, K. Mařík, and A. Pastor, "Optimizing Legacy Building Operation: The Evolution Into Data-Driven Predictive Cyber--Physical Systems", *Energy and Buildings*, vol. 148, May 2017.

[18] G. P. Lydon, S. Caranovic, I. Hischier, and A. Schlueter, "Coupled simulation of thermally active building systems to support a digital twin", *Energy and Buildings*, vol. 202, Nov. 2019.

[19] Q. Lu, X. Xie, J. Heaton, A. K. Parlikad, and J. Schooling, "From BIM Towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management", 2020.

[20] C. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, and Y. Rezgui, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research", *Automation in Construction*, vol. 114, Jun. 2020.

[21] L. Sanhudo, N. M. M. Ramos, J. P. Martins, R. M. S. F. Almeida, E. Barreira, M. L. Simões, V. E. M. Cardoso, "A framework for in-situ geometric data acquisition using laser scanning for BIM modelling", *Journal of Building Engineering*, vol. 28, Nov. 2019.

[22] K.-M. Chang, R.-J. Dzeng, and Y.-J. Wu, "An Automated IoT Visualization BIM Platform for Decision Support in Facilities Management", *Applied Sciences*, vol. 8, Jul. 2018.

[23] A. Aguiar Costa, P. Lopes, A. Antunes, I. Cabral, A. Grilo, and F. Rodrigues, "3I Buildings: Intelligent, Interactive and Immersive Buildings", *Procedia Engineering*, vol. 123, Dec. 2015.

[24] Q. Lu et al., "Developing a Digital Twin at Building and City Levels: Case Study of West Cambridge Campus", *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 3, p. 05020004, May 2020.

Normalização de biblioteca Heritage-BIM: Os claustros conventuais Serlianos de Lisboa através de objetos genéricos compostos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.43

Ana Gil[1], **Ana Tomé**[2]

[1] *CERIS/IST/Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-0700-398X*

[2] *CERIS/IST/Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-9801-9791*

Resumo

Na era digital, é importante refletir sobre a aplicabilidade de diretrizes para uma eventual normalização do modelo digital do património arquitetónico. Tais digitalizações poderiam ser desenvolvidas, utilizadas e partilhadas como património digital de modo expedito, universal e com base científica, independente de possíveis limitações físicas, monetárias ou tecnológicas.

O presente trabalho assenta na premissa de que a criação de um modelo digital de património arquitetónico, passa pelo uso de ferramentas da indústria AEC (arquitetura, engenharia e construção), nomeadamente a tecnologia BIM (building information modeling), com foco na criação de uma biblioteca H-BIM (heritage building information modeling) constituída por objetos genéricos compostos. Genéricos porque possuem o detalhe geométrico que lhes permite serem representativos do universo tipológico a que pertence o objeto e, compostos, por serem constituídos por dois ou mais objetos patrimoniais, sendo o conjunto necessário para a leitura global do objeto final (e.g., arcada como conjunto de arcos suportados por colunas). Esta abordagem considera que o detalhe geométrico final do modelo poderá vir a ser, *a posteriori*, otimizado pela automatização do processo scan-to-BIM aproximando assim o modelo digital final do gémeo digital do elemento real.

Neste sentido, com vista a contribuir para universalizar a elaboração de modelos digitais de património arquitetónico, este trabalho pretende refletir sobre a possibilidade de criar diretrizes para uma normalização de bibliotecas H-BIM. Considerando tal objetivo, é proposta uma metodologia de desenvolvimento de modelos digitais constituídos por objetos compostos genéricos. Como caso de estudo, foram utilizados os claustros renascentistas serlianos dos conventos de Lisboa.

1. Introdução

Cada objeto patrimonial é um elemento único. Porém, possui parâmetros dimensionais (e.g., comprimento, largura, espessura), não dimensionais tangíveis (e.g., cor, material) e não dimensionais intangíveis (e.g., época construtiva, tipologia) que permitem identificá-lo a tantos outros.

É possível abordar a representação digital do património arquitetónico (existente ou não) a partir de estudos tipológicos, visando a definição de regras básicas para a elaboração da geometria dos seus elementos individuais e os respetivos intervalos de valores dos seus parâmetros. Surge, assim, o conceito de objeto genérico de património arquitetónico, o qual pode ser utilizado para representar, de forma simplificada e através de manipulação paramétrica, um tipo específico de objeto patrimonial num modelo digital de património arquitetónico. Assim, através da simples reutilização de objetos genéricos passará a ser possível desenvolver modelos digitais de património arquitetónico de modo expedito, sistemático, e científico, independentemente da existência de levantamentos rigorosos dos mesmos, e apenas com base na informação existente no momento, (i.e., informação documental de fontes históricas). Tal só é possível uma vez que, paralelamente à definição paramétrica (parâmetros geométricos, parâmetros não geométricos tangíveis e parâmetros não geométricos intangíveis) e tipológica de determinado objeto, também seriam padronizados os níveis de detalhe geométrico. O nível mais baixo corresponderá apenas às geometrias caraterísticas básicas com os respetivos parâmetros associados. Já num nível intermédio, ainda de manipulação direta (i.e., num nível em que as geometrias são modeladas em ambiente BIM) acresce a possibilidade de editar perfis aproximando a geometria do objecto à geometria padrão do elemento real. Por fim, um nível máximo ideal, corresponderá a um objeto obtido diretamente através do processo scan to BIM otimizado, i.e., em que as geometrias são extraídas automaticamente das nuvens de pontos [1].

Todavia, em património arquitetónico, é recorrente um elemento individual encontrar-se em relação direta com outro elemento ou conjunto de elementos, e constituírem um conjunto identificado, como o caso de colunas, galerias, claustros e até mesmo fachadas. Deste modo, não basta aos objetos serem genéricos para agilizar a representação dos modelos digitais, é necessário que sejam também compostos. Neste caso, um maior número de elementos passaria a ser colocado, de uma só vez, de forma regrada no modelo digital de património arquitetónico. Os modelos digitais de património arquitetónico deixariam, assim, de serem exaustivamente modelados e parametrizados caso a caso, elemento a elemento, para passarem a ser uma coletânea de objetos genéricos compostos elaborados a priori, com parâmetros modificados a posteriori aquando da sua aplicação em modelos digitais. Idealmente, passar-se-ia do genérico ao particular de forma ágil e expedita.

Para que se possa generalizar a utilização destes objetos, è necessário estandardizar a sua elaboração e centralizar o seu armazenamento, divulgação e disponibilização em bibliotecas H-BIM [1]. Verifica-se que desde as primeiras civilizações

urbanas até ao século XIX têm sido consecutivamente seguidos estilos e técnicas construtivas [2]. Logo, à semelhança do que atualmente acontece na indústria AEC onde cada objecto é disponibilizado pelo fabricante em biblioteca BIM, os objetos patrimoniais também necessitam de serem elaborados da mesma forma aquando se trata do mesmo tipo de elemento, com a mesa época construtiva e mesmo método construtivo. Permitindo, assim, que diferentes intervenientes, em diferentes projetos com o mesmo tipo de elemento possam interagir com o modelo digital da mesma forma, facilitando trocas, melhorando a eficiência, a implementação de diretrizes e de protocolos sobre os modelos digitais e aumentando a própria longevidade do objecto [3]. A estandardização da representação ficaria liberta das irregularidades do objecto, uma vez que o nível de detalhe último ideal seria à posterior acrescentado com scan to BIM otimizado.

Assim, idealmente, passariam a existir mais modelos digitais representativos do nosso património arquitetónico, i.e., mais património digital de bens arquitetónicos, cumprindo-se os objetivos do programa Memory of the World [4] no sentido em que a informação relativa ao património ficaria preservada, protegida e acessível a todos. Este património digital de património arquitetónico tornar-se-ia, tendencialmente, o modelo digital central da informação para qualquer intervenção ou ação sobre o elemento real, não por ser um modelo de uso polivalente, mas por ser um modelo que reúne toda a informação existente sobre o objeto patrimonial em causa. Estes modelos digitais permitiriam, assim, representar *urbi et orbis* o passado, o presente e o futuro do caso real, onde as suas corretas identificação, classificação e representação ao longo do tempo serão a raiz de um efetivo gémeo digital [5][6][7] de património arquitetónico [8][9].

Acresce que, apesar da indústria AEC possuir a sua própria estandardização, com sistemas de classificação próprios e normas bem definidas, estes não podem ser diretamente utilizados pelo património arquitetónico uma vez que:

- Nos sistemas de classificação existentes não há classificação para a maioria dos objetos patrimoniais, como é o caso, por exemplo, de colunas e respetivas bases, fustes e capitéis;
- As regras de modelação definidas não têm em conta as especificidades do património arquitetónico, como é o caso da composição de elementos e suas relações;
- Os parâmetros definidos não se adequam aos objetos patrimoniais, alguns não têm interesse (e.g., warranty, PointOfContact, ModelReference) sendo omissos outros de relevância (e.g., EpocaConstrutiva, Categoria, Tipologia, proteção, ConservaçãoGeral);
- O atual conceito de gémeo digital [10] não comporta as especificidades de objetos de património. Falta, por exemplo, a componente histórica, i.e., dados gráficos e não gráficos correspondentes ao passado do mesmo, imprescindíveis à criação de património digital de património arquitetónico.

Com uma normalização de bibliotecas H-BIM, assente em estudos tipológicos de elementos patrimoniais, tornar-se-á possível generalizar a representação de património arquitetónico. Tal motivará, por um lado, maior agilização do processo de modelação e, por outro, constituirá um meio mais eficaz de conservação preventiva de património arquitetónico existente. Neste sentido, com vista a contribuir para o estabelecimento de diretrizes para uma futura normalização de bibliotecas H-BIM, este trabalho apresenta sete princípios essenciais para o correto desenvolvimento de biblioteca digital de objetos genéricos (simples e compostos) de património arquitectónico e aponta uma metodologia de desenvolvimento de objetos compostos genéricos H-BIM visando a criação de modelos de património digital alusivos a património arquitetónico.

Como objetivos gerais:

- Desenvolver, testar e avaliar a metodologia de elaboração de modelos digitais baseada na criação de objetos genéricos compostos;
- Contribuir para a normalização de bibliotecas H-BIM de modelos genéricos em geral e de modelos genéricos compostos em particular.

Por sua vez, como objectivos específicos:

- Criar e testar objetos genéricos compostos necessários à elaboração dos claustros conventuais lisboetas de tipologia mais complexa, claustros serlianos, com vista à sua disponibilização em biblioteca Heritage-BIM;
- Gerar e testar modelos digitais dos casos de estudo com base na informação existente, para que sirvam de base ao desenvolvimento de futuros modelos H-BIM dos conventos em questão.

2. Revisão de Literatura

Segundo [11] a salvaguarda do património só terá eficácia se forem trabalhadas, em simultâneo, diferentes áreas dessa mesma realidade tais como a inventariação, a classificação, a gestão, a intervenção e a difusão. Estas áreas, embora apresentem operativamente a sua autonomia, serão partes complementares de um encadeado lógico de ações. Várias têm sido as entidades, nacionais e internacionais, que tem perseguido o objetivo de melhor documentar, preservar e divulgar o património ao longo dos tempos através da elaboração de cartas, princípios, normas e diretrizes [12][13][14][15].

Nos últimos anos, têm sido mobilizados esforços no sentido de aplicar a tecnologia BIM ao âmbito do património arquitetónico [16]. Através dos principais documentos publicados por entidades internacionais ligadas ao património é possível observar o percurso do património arquitetónico em nível de maturidade BIM [17][18], desde a sua incursão no nível zero até à sua atual aproximação de estabilização no nível 2, a par com a indústria AEC:

- Nível 0 (pré-BIM) – documentação patrimonial efetuada com recurso a metodologia tradicional [19][20];
- Nível 1 (modelação) – representação digital incidindo em modelos 2D e 3D [21][22];
- Nível 2 (colaboração) – aplicação de metodologia BIM em ambiente colaborativo baseado em modelos parciais por especialidades [23][24][25][26];
- Nível 3 (integração) – modelo único e integrado onde o sistema é gerido através de servidor colaborativo.

Verifica-se que atualmente, num nível 2, a interoperabilidade e o trabalho colaborativo baseado em modelos paramétricos [27] e associativos [28] são o caminho para a salvaguarda eficaz do património [24]. E, que, num futuro nível de maturidade 3, a base da elaboração do gémeo digital de património arquitetónico que servirá de base para todas as ações passará pelo scan-to-BIM otimizado, onde o modelo do atual estado do elemento patrimonial será automaticamente gerado com base na nuvem de pontos, ficando apenas a inserção do passado geométrico e da informação não geométrica à responsabilidade do utilizador como anteriormente referido [1][2]. Os modelos elaborados associados a nuvem de pontos poderão vir a ser utlizados como elemento central para as mais variadas áreas, tanto para conservação, gestão, manutenção e até para estudos mais específicos dos elementos, como por exemplo o caso de estudos epigráficos através de *morphological residual model* [29] e, num futuro próximo, poderão vir a incorporar de forma automática objetos granulares (i.e., subobjetos que resultam da decomposição de um objeto permitindo adicionar informação relevante gráfica e não gráfica) [30] no próprio modelo digital, passando a ser um gémeo digital do elemento real, se existir informação para tal.

O património arquitetónico ao ser caraterizado pela irregularidade geométrica e ao não seguir os estilos e tipologias estritamente *by the rule*, faz de cada caso um caso único [31]. O BIM representa assim oportunidade para a documentação e preservação do património, mas esta requer uma discussão metodológica e experimentação prática, a fim de obter modelos detalhados de objetos históricos irregulares [31]. As duas atuais principais vias de elaboração de modelos BIM de património arquitetónico, ainda não permitem a implementação do BIM de forma generalizada a grande escala tendo em conta a especificidade dos elementos patrimoniais, mas estão a desenvolver todos os esforços necessários para que se consiga atingir as bases para tal. Uma, passando pela parametrização exaustiva de elementos e tentativa de recriação da realidade com base nesses cânones [32], e outra, pretendo gerar uma representação fidedigna da realidade através de processo scan-to-BIM automatizado para determinados elementos arquitetónicos clássicos [33], chegam a aproximações de gémeos digitais, não estandardizados, do elemento real.

Para a atual estabilização num nível de maturidade 2, e criação de base sólidas para a incursão num futuro nível 3, através da generalização da representação e divulgação dos modelos digitais de património arquitetónico de forma universal, tendo em conta as especificidades dos seus elementos compostos, será necessária uma solução de compromisso. À semelhança das bibliotecas BIM da indústria AEC e respetiva

regulamentação associada [1] [34][35][36][37][38][39][40], a solução passará pela definição de uma biblioteca digital de património arquitetónico – biblioteca H-BIM – baseada em objetos genéricos compostos elaborados de forma científica. Tal compromisso corresponderá a um caminho em que a normalização possível dos objetos patrimoniais permitirá representar digitalmente mais casos de estudo, na medida em que a tarefa de modelação será facilitada, mas esta será necessariamente menos detalhada o que afastará o resultado final de um gémeo digital, abrindo apenas um caminho para tal. Apesar da possibilidade de alterar os perfis dos elementos (nível de detalhe 3) estar sempre em aberto não cabe dentro desta abordagem avaliar o esforço de atualização dos modelos a partir de um processo scan-to-BIM automatizado.

Em Portugal, os "kits do património" [11] constituem um esforço de sistematização ao classificarem elementos e espaços apontando no sentido de uma eventual representação digital normalizada. Contudo, esta classificação não sendo numerada dificulta a sua aplicação ao desenvolvimento de uma metodologia de elaboração de património digital de património arquitetónico tendo por base objetos genéricos compostos de acordo com os requisitos antes enunciados. Em Inglaterra, o Midas Heritage – The UK Historic Environment Data Standard [41] define um guia da informação a ser recolhida não providenciando um sistema *standard* de classificação ou convenção de nomes. Apenas é referido que o sistema de classificação Uniclass [42], um dos sistemas de classificação da indústria da construção, tem vindo a ser corrigido no sentido de incorporar requisitos patrimoniais [26].

Assim, paralelamente à falta de classificação patrimonial abrangente e de carácter universal, semelhante às que já existem para a indústria AEC [43][42] atualmente, assiste-se ao desenvolvimento dos elementos patrimoniais maioritariamente caso a caso, sem regras de modelação bem definidas, em alguns casos apenas com regras de modelação genéricas [24] [25][26]) e muito raramente disponibilizados em bibliotecas tendo em conta a sua efetiva reutilização.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma metodologia para a elaboração e disponibilização de objetos genéricos compostos caraterísticos dos vários elementos, ou conjunto de elementos arquitetónicos, segundo princípios orientadores. Num estado ideal de nível de maturidade 2, o modelo digital de património construído será mais facilmente desenvolvido através da reutilização desses objetos genéricos compostos, através de breves edições, podendo incorporar a qualquer altura as nuvens de pontos do conjunto para melhorar a sua precisão.

3. Princípios orientadores

Para a elaboração de objetos genéricos, considerados património digital de património arquitectónico, há que ter em conta todas as cartas, recomendações e princípios correspondentes ao património cultural e ao património material móvel e imóvel em geral e ao património digital em específico.

Nesse sentido, são apontados de seguida sete princípios essenciais para o correto desenvolvimento de biblioteca digital de objetos genéricos (simples e compostos) de património arquitectónico:

1.º Preservação de um Bem Comum – É essencial universalizar as ações sobre o património, proporcionando as mesmas oportunidades independentemente do nível de classificação deste. A elaboração e disponibilização de uma biblioteca digital nacional de objetos genéricos de elementos patrimoniais, com toda a informação que lhe serviu de fonte devidamente documentada, contribuíram de modo universal e expedito, para a geração padronizada de património digital de património arquitectónico e consequente preservação eficiente do mesmo.

2.º Fontes – As fontes são o elemento chave de todo o processo, para tal é necessário que sejam fidedignas e representativas do universo do objecto real em causa. As mesmas têm de ser devidamente documentadas, processadas e armazenadas.

3.º Interdisciplinaridade – Os objetos deverão ser elaborados por uma equipa de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, em particular por especialistas BIM em articulação com diferentes especialistas da área do património.

4.º Responsabilidade – A elaboração, armazenamento, preservação, acessibilidade e partilha de cada objecto genérico, representativo de um elemento patrimonial, real deve ser da alçada de cada nação, em específico da respectiva entidade nacional responsável pelo património arquitectónico.

5.º Cooperação – A entidade nacional responsável deve fomentar a cooperação nacional e internacional com outas entidades, tanto patrimoniais como digitais, por forma a salvaguardar a universalidade dos conteúdos e das técnicas aplicadas.

6.º Normalização – A elaboração universal de objetos apoia-se sobre:

- Sistema de nomenclatura – O sistema terá de incluir a classificação tipológica e subtipológica de cada elemento, quando existente, e respectivo código único de identificação. Contudo, é necessário que de alguma forma o sistema adoptado seja único e se consiga fazer paralelismo hierárquico com um sistema de classificação patrimonial internacional eleito e com um sistema de classificação AEC internacional;
- Parametrização base – lista de parâmetros necessários por cada tipo de objecto e respectivas características padrão. À semelhança do que ocorre na indústria AEC;
- *Standard* – conjunto de regras essenciais a seguir para a elaboração do objecto genérico patrimonial através de ferramenta BIM tendo em conta a especificidade do património arquitectónico;
- Programa – é necessário que o programa existente, de elaboração de objetos digitais, esteja adaptado às realidades patrimoniais, assim com o próprio formato IFC;

– Metodologia H-BIM – metodologia BIM devidamente adaptada à realidade do património arquitectónico, cujos objetos gerados consigam coabitar em modelos digitais com objetos da indústria AEC;
– Meio de divulgação global – bibliotecas H-BIM nacionais capazes de armazenar e partilhar todos os objetos de forma segura;

7.º Pesquisa, formação e avaliação – A especificidade da aplicação do BIM ao património, e em especial ao Património Arquitectónico, deve ser uma área a explorar através de programas de investigação, formação e avaliação, tanto nacional como através de cooperação internacional.

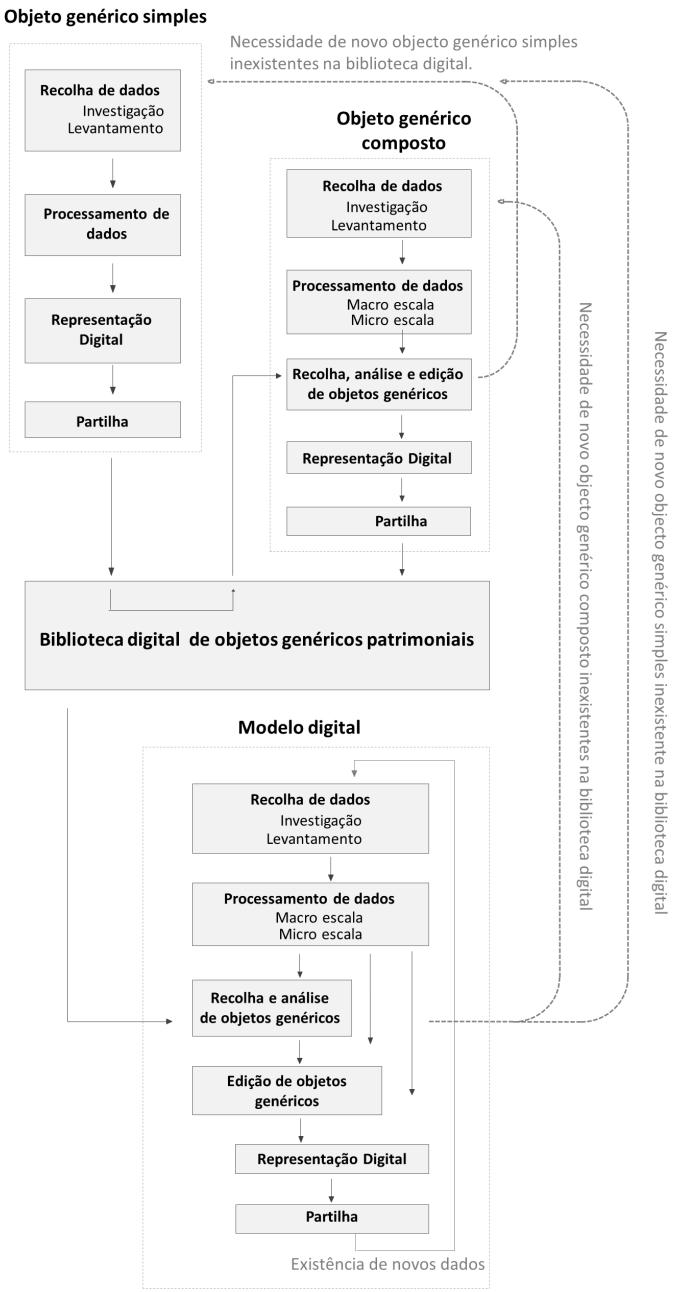


Figura 1
Esquema representativo da metodologia geral (Fonte: imagem do autor).

Metodologia H-BIM

A metodologia H-BIM proposta visa constituir-se como um processo cíclico [44] de desenvolvimento de um modelo digital de património arquitetónico enquanto património digital, permitindo através da produção de objetos genéricos compostos facilitar a elaboração de modelos digitais através de simples manipulação paramétrica com base na informação disponível no momento (Figura 1).

4. Caso de estudo

Os conventos são uma realidade urbana na Europa e no mundo. Fazem parte da nossa história, são património a inventariar, documentar, preservar e divulgar. Em Lisboa, até à data de extinção (1833) foram edificadas em toda a cidade 115 casas religiosas (mosteiros, conventos, colégios, hospícios e recolhimentos) 88 das quais eram conventos. Em 2015 constatava-se que 39 das 88 ainda existiam praticamente na íntegra [45].

Com base na classificação tipológica de claustros existente [46], foi possível fazer a distribuição e classificação dos 35 claustros conventuais lisboetas de informação conhecida. Das três tipologias mais representativas, destacam-se os claustros serlianos pela complexidade geométrica. Os claustros serlianos caracterizam-se pela repetição do motivo serliano nas suas 4 alas. O motivo serliano constitui-se por vão tripartido simétrico, com abertura central em lintel semicircular (arco) e as duas aberturas laterais compostas por duas colunas, ou pilares, suportando um lintel reto. Os conventos lisboetas com claustros de tipologia serliana são: Convento de Nossa Senhora da Graça, Mosteiro de São Bento da Saúde, Convento de São Domingos de Benfica e Convento do Santíssimo Sacramento [47][48].

Com base na análise das 27 serlianas de Sérlio [49] definiram-se dois tipos principais de serlianas: as estruturais e as estéticas. Dentro de cada tipo é ainda possível identificar duas subcategorias. As estruturais podem ser puras ou embebidas e as estéticas, por sua vez, podem ser puras ou de vão aberto (Figura 2). Os claustros serlianos de conventos lisboetas, classificam-se, assim, do seguinte modo: Mosteiro de São Bento da Saúde e Convento de Nossa Senhora da Graça com claustro serliano estrutural puro e, o Convento de São Domingos de Benfica e o Convento do Santíssimo Sacramento com claustro serliano estético de vão aberto.

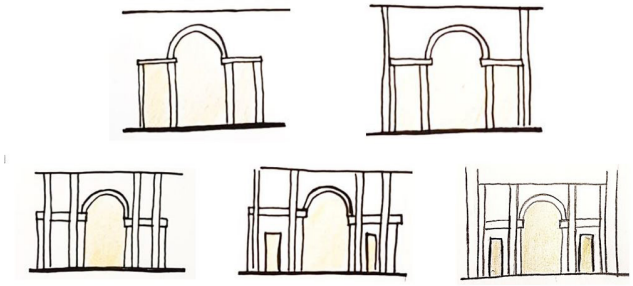


Figura 2
Serliana estrutural pura (cima esq.) e Serliana estrutural embebida (cima dir.). Serliana estética pura (baixo esq.), serliana estética de vão aberto (baixo centro) e Serliana estética embebida (baixo dir.) (Fonte: imagem do autor).

Seguidamente, desenvolveram-se os dois objetos genéricos compostos correspondentes à unidade mínima de cada uma dessas subtipologias: ala de claustro serliano estrutural puro e ala de claustro serliano estético de vão aberto (Figura 3). Posteriormente, aplicaram-se os dois objetos genérico compostos desenvolvidos à modelação dos claustros dos conventos específicos através da modificação dos seus parâmetros no sentido de adequar o objecto criado à representação digital de cada convento (Figura 4 e 5).

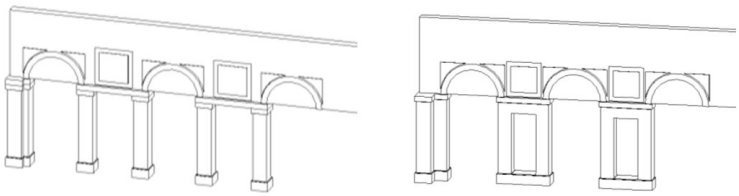


Figura 3
Objetos compostos genéricos: HBIM_ ClaustroAla_Pedra_ SerlianoEstrutural_Puro.rfa (esq.) e HBIM_ ClaustroAla_Pedra_ SerlianoEstetico_ VaoAberto.rfa. (dir.). (Fonte: imagem do autor).

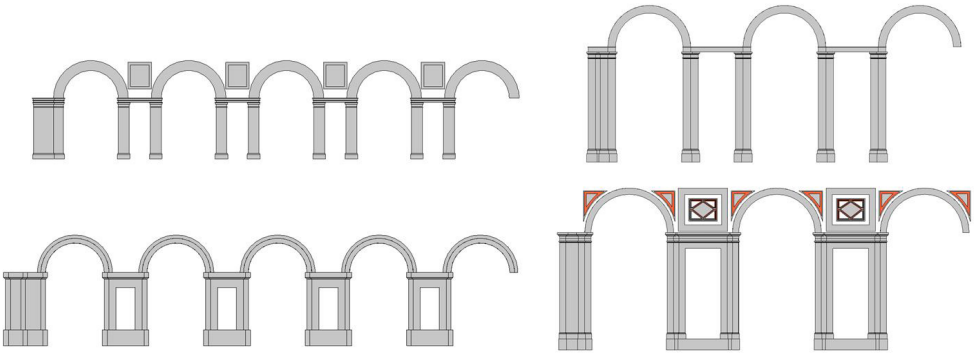


Figura 4
Objetos compostos: ala de claustro do Convento de Nossa Senhora da Graça, ala de claustro do mosteiro de São Bento da Saúde, ala de claustro do convento do Santíssimo Sacramento de Lisboa e ala de claustro do mosteiro de São Domingos de Benfica. (Fonte: imagem do autor).

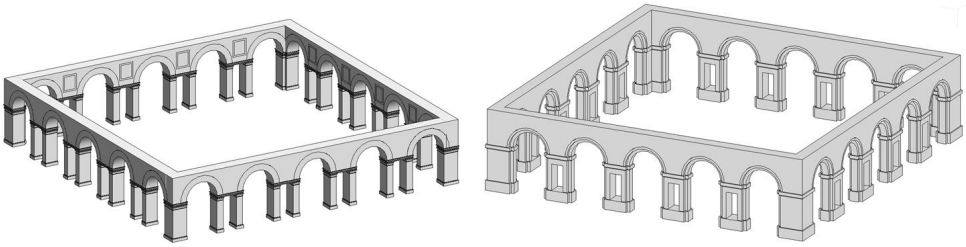


Figura 5
Modelos digitais: claustro do Convento de Nossa Senhora da Graça (esq.) e claustro do convento do Santíssimo Sacramento de Lisboa (dir.) (Fonte: imagem do autor).

Para os dois objetos genéricos compostos em causa:

- Foi possível encontrar, simultaneamente, uma classificação de conjunto e classificações individuais para cada componente;
- Foi desenvolvido um estudo tipológico prévio. O qual permitiu identificar: 1) os elementos constituintes e as suas relações geométricas; 2) os parâmetros de base característicos (gráficos, não gráficos e imateriais) e os respetivos intervalos de variação (valores e/ou proporções). Deste modo, a parametrização permitiu ao objeto genérico composto ser reutilizado na modelação de

elementos da mesma tipologia e, também, ser editado para gerar um objeto de um tipo análogo;
- Foi tido em conta um ambiente BIM, no qual foram elaborados e definidos os respetivos parâmetros geométricos e não geométricos (materiais e imateriais) de modo a associar ou hiperligar valores, permitindo futuras correções sem refazer todo o modelo;
- Foram tidos em conta três níveis de detalhe geométrico: 1) um básico onde o objeto é representado esquematicamente, 2) outro, intermédio, onde o objeto é mais detalhado e de fácil edição e, 3) um terceiro que permita a posterior inclusão de informação diretamente proveniente de um processo otimizado scan-to-BIM;
- Foram tidos em conta critérios cientificamente fundamentados e foram elaborados os manuais do objeto, visando facilitar a partilha, utilização e sua posterior modificação. O manual do objeto corresponde, de grosso modo, à descrição do elemento de construção, à apresentação dos parâmetros que o caraterizam e respetivos valores padrão, e fontes de referência.

5. Conclusões

Com o presente trabalho, foi possível testar a solução de compromisso no que respeita à elaboração de objetos patrimoniais complexos de amostra significativa, quatro claustros serlianos, constatando-se que um modelo devidamente elaborado em *assembly* num programa proprietário transmite corretamente os dados gráficos e não gráficos dos seus componentes via IFC. A prova de conceito foi conseguida abrindo caminho para a elaboração de sistemas mais complexos e com amostras numerosas.

A metodologia desenvolvida permitiu:

- Promover a criação de biblioteca H-BIM, com vista a elaborar modelos de património, classificado ou não, de forma expedida, a baixo custo e de modo científico, onde todas as suas características ficam documentadas no manual do objeto, potencializando de forma generalizada a representação, a documentação e consequente a conservação preventiva do nosso património;
- Destacar o papel interdisciplinar e colaborativos de todo o processo. Foi possível identificar claramente cada etapa e distinguir as funções que cada interveniente deveria executar forma eficiente e colaborativa. A metodologia pode ser executada por intervenientes diferentes em fases diferentes, e ser usado o resultado de cada fase aquando da sua necessidade.
- Destacar a importância do carácter cíclico numa metodologia de elaboração dos modelos digitais de património arquitectónico. Uma vez que permite, por um lado, posteriores correções expeditas ao modelo base aquando do aparecimento de nova informação, como acrescento de dados associados ao modelo correspondentes a dados provenientes dos vários técnicos intervenientes a qualquer altura;

– Universalizar e aumentar o rigor da representação e documentação de património arquitectónico, através da normalização de designações e de procedimentos, sendo os modelos elaborados com base em regras bem definidas permitindo a sua reutilização expedita. Os elementos deixam assim de ser elaborados casso a caso e começam a ser elaborados de forma universal, tanto que respeita às suas tipologias como à geração das suas formas;
– Desenvolver modelos estáveis a um nível dois de maturidade BIM abrindo o caminho a posterior incorporação de nível de detalhe ótimo por simples adição de um último nível de detalhe oriundo do scan-to-BIM optimizado. Tal será possível, uma vez que os modelos digitais elaborados permitem a incorporação de nuvens de pontos aquando da sua existência, as quais poderão facilmente ser reutilizadas *a posteriori* aquando da otimização do processo scan to BIM.
– Em suma, gerar património digital de património arquitectónico através de modelos normalizados.

Relativamente à tecnologia BIM atual, é possível apontar os seguintes desenvolvimentos futuros:

– Dotar os programas de sistemas de classificação patrimonial;
– Capacitar os programas de implementação não restritiva do uso, reconhecimento e identificação de objetos compostos, isto é, identificação de todos os elementos constantes em cada camada, regras existentes entre eles, hierarquias e parâmetros individuais de cada um;
– Continuar o esforço de automatização da elaboração de objetos através do reconhecimento automático dos respectivos elementos numa nuvem de pontos;
– Definir meios expeditos de referenciação cruzadas entre os dados dos objetos gerados e os respectivos modelos genéricos base, por forma a facilitar o reconhecimento e identificação de correções futuras.
– Adaptar as bases de dados nacionais para que possam albergar e assim centralizar o armazenamento e distribuição do património digital correspondente aos modelos digitais de património arquitectónico.

Assim, como diretrizes para a normalização dos modelos digitais de património arquitectónico enquanto património digital deste, é possível apontar a necessidade de:

– Definição de um sistema de classificação tendo em conta as especificidades do património arquitectónico que abranja todos os elementos, sejam eles individuais ou compostos. De preferência, caso possível, adaptação e enriquecimento de um sistema existente, para que elementos patrimoniais e nova construção possam coexistir num mesmo projeto de forma integrada;
– A par com o ponto anterior, definir os parâmetros genéricos a associar a cada elemento classificado (geométricos, não geométricos tangíveis e intangíveis), dando primazia a parâmetros IFC, por forma a universalizar o seu uso e partilha;

- Efetuar, armazenar e partilhar estudos tipológicos de elementos individuais e de conjuntos, de forma sistemática, universal e científica, com base num conjunto de regras gerais comuns. Para tal, manter como base a elaboração de desenhos técnicos a par das respectivas descrições e regras relacionais;
- Efetuar estudos dos comportamentos dos vários tipos de estruturas e respectivas técnicas construtivas, de forma sistemática, universal e científica, com base num conjunto de regras gerais comuns por forma a auxiliar o ponto anterior;
- Realizar estudos por especialidade, com o intuito de apontar as características necessárias tanto geométricas como paramétricas do modelo digital para que o contributo de cada especialidade possa efetivamente vir a ser acrescentado a este;
- Definição de norma de elaboração de modelos digitais tendo em conta os pontos anteriores, por forma a poder generalizar o seu uso à escala global. A norma passará pela definição da atribuição de nomes aos objetos, pelas regras de geração dos mesmos e pela definição e caracterização dos níveis de detalhe padrão;
- Definição e criação de uma biblioteca Heritage-BIM internacional, possivelmente continentais, que funcionará, por um lado como reguladora dos objetos genéricos compostos gerados e por outro, como polo centralizador de arquivo, distribuição e partilha de tais objecto e respetivos estudos tipológicos;
- Adaptação das atuais bases de dados digitais nacionais por forma a serem capazes de albergar os modelos digitais de todos os seus elementos arquitectónicos.

Este trabalho foi financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) no âmbito da bolsa de doutoramento SFRH/BD/100181/2014.

Referências

[1] F. J. López, P. M. Lerones, J. Llamas, J. Gómez-García-Bermejo, and E. Zalama, "A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)". *Multimodal Technol. Interact.*, nº 2, 21, 2018. https://doi.org/10.3390/mti2020021

[2] E. D'Alfonso, and D. Samsa, *Guia de História da Arquitetura. Estilos Arquitetónicos*. Lisboa: Editorial Presença, 2006.

[3] V. Fassina, "European Technical Committee – CEN. TC 346 – Conservation of Cultural Heritage", in *European Heritage Heads Forum (2012)*, Berlin, Germany, 2012.

[4] International Advisory Committee, "Memory of the World", UNESCO, 2019.

[5] M. Grieves and J. Vickers, "Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems". *Transdisciplinary Perspectives on*

Complex Systems, pp. 85-113. Springer, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3--319-38756-7_4

[6] Centre for Digital Built Britain, "The Gemini Principles", 2018.

[7] A. Walker, "Principles to guide development of national digital twin released", in Infrastructure Intelligence, December 2018.

[8] P. Jouan and P. Hallot, "Digital twin: a hbim-based methodology to support preventive conservation of historic assets through heritage significance awareness", in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2019),* Volume XLII-2/W15, Ávila, Spain, 2019, pp. 609-615. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-609-2019

[9] L. De Luca,"Towards the Semantic-aware 3D Digitisation of Architectural Heritage: The "Notre-Dame de Paris" Digital Twin Project" in *SUMAC'20*, 2020, pp. 3-4. https://doi.org/10.1145/3423323.3423415

[10] BuildingSMART International, "Property Sets for Objects", 2020.

[11] IHRU, "Kits património. Kit 01 – Património Arquitectónico – Geral", 2010.

[12] F. Lopes and M. Correia, *Património Arquitetónico e Arqueológico. Cartas, Recomendações e Convenções Internacionais*. Lisboa: Livros Horizonte, 2004.

[13] F. Lopes, *Património Arquitetónico e Arqueológico. Noção e normas de proteção*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2012.

[14] F. Lopes, *Zonas de Proteção ao Património Arquitetónico*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2013.

[15] F. Lopes and M. Correia, *Património Cultural. Critérios e Normas Internacionais de Proteção*. Casal de Cambra: Caleidoscópio, 2014.

[16] D. P. Pocobelli, J. Boehm, P. Bryan, J. Still and J. "Grau-Bové BIM for heritage science: a review", *Heritage Science*, 6 (30), 2018. https://doi.org/10.1186/s40494--018-0191-4

[17] B. Succar, "Building Information Modeling Framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders". *Automation in Construction*, 18, 357-375, 2009. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003

[18] Azenha, M., Lino, J., Granja, J. "Introdução. Modelação paramétrica e interoperabilidade", in Curso Objetos BIM, 2020.

[19] ICOMOS, "Principles for the recording of monuments, groups of builfdings and sites", 1996.

[20] ICOMOS, "Charther for the Interpretation and presentation of Cultural Heritage Sites", 2007.

[21] King´s College London, "The London Charther", 2009.

[22] SEAV, "Principles of Sevillhe", 2012.

[23] UNESCO, "Charter on the preservation of digital heritage", 2003.

[24] Historic England, "Bim for Heritage. Developing a Historic Building Information Model", 2017.

[25] Building SMART Spain, "Guia de Usuários BIM. BIM Aplicado ao património Cultural. Documento 14", 2018.

[26] Historic England, "BIM for Heritage. Developing the Asset Information Model", 2019.

[27] B. Kolarevic, *Architecture in the digital age: design and manufacturing*. New York: Spon press, 2003.

[28] A. Gil, "Modelos Digitais – Geometria Associativa: particularidade da musealização monumentos em extensão". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior `Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.

[29] H. Pires, "Epigrafia 3D: possibilidaeds de umadigitalizacion de inscripciones romanas en el marco de la epigrafía digital". *Ex Baetica Roman*, pp. 975-1011, 2020.

[30] F. Banfi, "HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins", *Virtual Archaeology Review*, 11 (23), pp.16-33, 2020. https://doi.org/10.4995/var.2020.12416.

[31] D. Oreni, R. Brumana, A. Georgopoulos, and B. Cuca, "HBIM Library Objects for Conservation and Management of Built Heritage", *International Journal of Heritage in the Digital Era*. 3(2), pp. 321-334, 2014. https://doi.org/10.1260/2047-4970.3.2.321

[32] S. Fai, M. Filippi, and S. Paliaga. "Parametric modelling (bim) for the documentation of vernacular Construction methods: a bim model for the commissariat building, Ottawa, Canada". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* II-5/W1, pp. 115-120, 2013. https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-5-W1-115-2013.

[33] M. Murphy, "Historical Building Information Modeling (HBIM)", in *Handbook of research on Emerging Digital Tools for Architectural Surveying, Modeling and Representation*, pp. 233-273. USA: IGI Global, 2015.

[34] Autodesk "Revit IFC manual. Detailed instructions for handling IFC files", 2018.

[35] Bimobject, "Revit Style Guide v2018", 2018.

[36] Bimobject, "Content Style Guide", 2019.

[37] Bimstore, "The bilstore Bible", 2019.

[38] CEN, "Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles (ISO19650-1:2018)", 2018.

[39] CEN, "Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 2: delivery phase of the assets (ISO19650-2:2018)", 2018.

[40] NATSPEC, "OBOS. Open BIM Object standard. An international standard for object developers", 2018.

[41] English Heritage and FISH, "Midas Heritage – The UK Historic Environment Data Standard", 2012.

[42] NBS, "Uniclass 2015", 2015.

[43] CSI, "OmniClass", 2020.

[44] H. Rua, and A. Gil, "Automation in heritage – Parametric and associative design strategies to model inaccessible monuments: The case-study of eighteenth--century Lisbon Águas Livres Aqueduct Digital", *Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 1, pp. 82-91, 2014. Doi: 10.1016/j.daach.2014.06.002

[45] R.Mégre, H. Silva and T. Lourenço, "As cassas Religiosas de Lisboa", LxConventos, 2018. http://lxconventos.cm-lisboa.pt/wp-content/uploads/2015/06/CasasReligiosasLisboa.pdf

[46] N. Silva, "Clautros Serlianos em Portugal. 1558-1635", Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

[47] LxConventos, *LxConventos: da Cidade Sacra à Cidade Laica. A extinção das ordens religiosas e as dinâmicas de transformação urbana na Lisboa do século XIX* (PTDC/CPC-HAT/4703/2012, 2013-2015. http://lxconventos.cm-lisboa.pt/

[48] R. Lobo, V. Murtinho, and N. Silva, "O Claustro Grande do Convento de Cristo em Tomar e os claustros serlianos portugueses", *Claustros no mundo mediterrânico*, pp. 117-131. Coimbra: Almedina, 2016.

[49] S. Serlio, "Tutte L´opere d´arcitettura et prospetiva", 1475-1554, by P. Hicks and V. Hart. London: Yale, University Press, 1996.

Aplicação de gémeos digitais na indústria da construção – Estado da arte

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.44

Anderson Garcia[1], **Bianca Gabalde**[2], **Gabriel Borges**[3], **Murilo Bruza**[4], **Eduardo Santos**[5], **Fabiano Correa**[6]

[1] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0003-3678-863X*

[2] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0002-4474-3194*

[3] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0002-2685-2848*

[4] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0001-9956-636X*

[5] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0002-0125-7073*

[6] *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0001-9742-3971*

Resumo

Gémeo Digital ou *Digital Twin*, representação virtual de ativos ou processos do mundo real, sincronizados a uma frequência (de aquisição de dados) e fidelidade especificada, está no cerne da Industria 4.0 e, desde que o termo foi cunhado em 2003, o gémeo digital desenvolveu-se em inúmeras áreas tais como: manufatura, aviação, aeroespacial e saúde. Na indústria da construção civil, o gémeo digital tem o potencial de romper o tradicional modelo de gestão da informação baseado em silos para um modelo integrado centrado em dados. Este trabalho desenvolve uma revisão sistemática da literatura científica com o objetivo de estabelecer o estado da arte do gémeo digital na indústria da construção, identificando os conceitos, aplicações, tecnologias e resultados apresentados nas etapas do ciclo de vida de ativos da construção como edificações e infraestrutura, discorrendo sobre os desafios atuais no desenvolvimento do gémeo digital na construção e apresentando algumas direções possíveis para futuros trabalhos neste tema.

Palavras Chave: *Digital Twin*, Gémeo Digital, Indústria da Construção, Construção Civil, Estado da Arte

1. Introdução

A integração de modelos virtuais, com IA (Inteligência Artificial), de objetos físicos com análises de *Big Data* para processamento de dados *IoT* (*Internet of Things* ou Internet das Coisas, numa tradução para o Português), motivou um dos mais importantes avanços recentes no campo da tecnologia, o *digital twin* (*DT*) ou gémeo digital (GD) [1].

O conceito de gémeo digital foi implementado pela primeira vez pela Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (*NASA*), no programa Apollo 13, com o objetivo de permitir a comunicação e o controle durante a missão espacial, onde foi criado um veículo idêntico ao que realizou a missão no espaço para ser monitorado na Terra. Porém, quem primeiro cunhou o termo foi o professor da Universidade de Michigan, nos EUA, Michael Grieves, em 2003 [2].

Na primeira definição de Grieves, o gémeo digital foi definido como componentes físicos, produtos ou sistemas em um espaço físico, sua correspondente representação virtual em um espaço virtual e o fluxo de informação entre estes dois espaços [3].

O *Digital Twin Consortium*, iniciativa global para a aceleração do desenvolvimento, adoção, interoperabilidade e segurança de gémeos digitais, define gémeo digital da seguinte maneira: um gémeo digital é uma representação virtual de ativos ou processos do mundo real, sincronizados a uma frequência (de aquisição de dados) e fidelidade (dos dados) especificadas. O gémeo digital usa dados históricos e em tempo real para representar respectivamente o passado e o presente e predizer e simular o futuro. O gémeo digital é potencializado pela integração, centrado em dados e implementado em sistemas de *IT/OT* ou Tecnologia de Informação e Tecnologia Operacional, em português [4].

Na Indústria da Construção, a utilização de gémeos digitais tem o potencial de romper o tradicional modelo de gestão da informação em silos para um modelo integrado centrado em dados. Na construção civil, os gémeos digitais são um novo fenômeno [5]. O termo ganhou maior popularidade na corrente revolução industrial (digitalização) [6]. O gémeo digital vem sendo cada vez mais reconhecido por mais e mais pesquisadores, e a empresa de pesquisas Gartner, em 2018, previu que os gémeos digitais seriam uma das 10 (dez) maiores tendências tecnológicas nos próximos dez anos [6].

Embora com um grande potencial mercadológico – globalmente de US$ 3 bilhões em 2018, com perspectiva de crescimento de 28% ao ano entre 2019-2025, atingindo mais de US$ 20 bilhões em 2025 [7] - de fato, a sua implementação pelas empresas vem crescendo lentamente. Pesquisa realizada pela Gartner em 2019, indicou que apenas 13% das organizações que implementaram projetos de IoT, usavam também gémeos digitais, enquanto 62% estavam ainda no processo de estabelecimento do uso do gémeo digital ou no plano para fazê-lo [8].

A criação de um gémeo digital pressupõe a utilização de um modelo digital contendo informações do ativo real construído, associado com as informações (dados) relativas ao ciclo de vida que se pretende monitorar. Uma das barreiras para sua implantação está na complexidade do tratamento dos dados que, uma vez coletados, devem ser harmonizados, associados adequadamente aos elementos do modelo, armazenados e processados de forma a criar uma fidedigna e precisa informação de status e na definição de modelos matemáticos de predição de comportamento e ou performance do ativo baseados nos dados coletados.

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa é responder às seguintes questões:

- Qual o estado da arte em termos de conceito, tecnologias, grau de maturidade e resultados práticos da aplicação do gémeo digital na indústria da construção?
- Em qual etapa do ciclo de vida de um ativo o gémeo digital pode ser aplicado?

2. Metodologia da pesquisa

A metodologia utilizada para a execução desta pesquisa foi uma revisão do estado da arte de Gémeos Digitais aplicados à Construção Civil, apoiada em um protocolo de revisão sistemática da literatura, proposto por Dresch et al. [9], com horizonte de pesquisa entre 2015-2021, exclusão dos trabalhos de fora do setor da construção, termos de busca: *((("All Metadata":"Digital Twin*") OR ("All Metadata":"Cyber-physical Systems")) AND (("All Metadata":"Construction Industry") OR ("All Metadata":"Smart Building*") OR ("All Metadata":"Smart Cities")))* na base de dados *IEEE Xplore*; *(ALL=("Digital Twin*" OR "Cyber-physical Systems")) AND (ALL=("Construction Industry" OR "Smart Building*" OR "Smart Cities"))* na base *Web of Science* e *("Digital Twin*" OR "Cyber-physical Systems") AND ("Construction Industry") AND ("Smart Building*" OR "Smart Cities")* na *Scopus*. Em todas as bases selecionou-se apenas artigos em *Journals*.

3. Conceito de Gémeos Digitais

3.1. Conceito

Dentro do período pesquisado, no intervalo de 2015 a 2018 pode-se constatar que o conceito de gémeo digital é pouco mencionado pelos autores dos estudos analisados, tendo-se predominância de referências aos *Cyber-Physical Systems* (*CPS*) ou Sistemas Ciber-físicos [10] [11] [12].

Barricelli et al. [1] definem o gémeo digital como uma máquina física ou virtual que espelha uma entidade física, um protótipo vivo, inteligente e progressivo. Pode ser aplicado de diferentes formas e ciclos de vida, é capaz de otimizar, monitorar e controlar os processos, investigar novas regras, obter diferentes simulações e testagens, prever acontecimentos, falhas e defeitos futuros antes deles ocorrerem e ter melhor controle para operação e manutenção.

Akanmu et al. [3] levantam que o gémeo digital se concentra na interação de dados de um-para-um entre uma entidade física e uma entidade virtual simultaneamente. Apoia-se obrigatoriamente na modelagem do objeto e faz a utilização dos dados e informações geradas pelos modelos para predizer e controlar o comportamento do meio físico, sendo a representação real do objeto construído, que pode ser aplicado em diversas áreas como rastreamento e controle, gestão de instalações, prevenção e manutenção e avaliação do desempenho da construção.

Sacks et al. [5] trazem o conceito voltado para o setor da construção, notadamente na fase de projeto e construção. Apontam a *DTC* (*Digital Twin Construction*) como um novo modo de gestão da produção em construção que aproveita as informações e volume de dados disponíveis implementando diversas tecnologias inteligentes a fim de fornecer informações precisas sobre o estado atual do objeto que contribuem com a execução, planejamento e monitoramento do objeto físico. Dizem ainda que o gémeo digital da construção possibilita melhor aplicabilidade de diversos processos que resultam em um modo de gestão da construção centralizado em informações de dados.

Tao et al. [13] que é o autor mais citado nos artigos estudados, diz que o gémeo digital é resultado da aplicação de 5 dimensões: a parte virtual, a parte física, a conexão entre elas, os dados e os serviços. Os autores consideram que essas dimensões possibilitam a integração dos dados físicos com os virtuais, resultando em informações de dados que possibilitam análises inteligentes e avançadas que contribuem com a qualidade do produto durante todo seu ciclo de vida.

Pode-se perceber que ainda existe uma "zona cinzenta" sobre a definição do conceito, sendo que, alguns autores referem ao termo gémeo digital como sendo *BIM* ou *CPS*. Na opinião dos autores, existe um desalinhamento e interpretação equivocada, sendo necessário estudos mais aprofundados relacionados aos conceitos dessas tecnologias.

3.2. *BIM* x GD x *CPS*

Para Akanmu et al. [3] *BIM* é uma plataforma de modelagem que contribui com o armazenamento de informações da construção e é o ponto inicial para o GD e o *CPS*. O GD é a representação de uma réplica da construção, é pré-requisito para a difusão do *CPS*, possui interação um para um. O *CPS* é a integração do sistema físico com a réplica digital através de meios computacionais, possui interação de um para muitos, seu recurso é caracterizado pela comunicação computacional e atuação de sensores. Segundo Jiang et al. [14], *BIM* é considerado como um modelo virtual, ou seja, representa virtualmente uma estrutura física de um objeto construído, pode representar algo que não existe ou não foi construído; já o GD necessita do modelo virtual e do objeto físico, faz transferência de dados entre o objeto físico e o modelo virtual, reflete o estado existente do objeto físico em tempo real. No caso do *CPS*, não é necessário o modelo virtual, faz transferência de dados do objeto físico para o sistema computacional em tempo real e têm a atuação de computadores e redes integradas

que monitoram e controlam o objeto físico. Para Sacks et al. [5], o *BIM* engloba os fluxos de trabalho e a tecnologia para modelagem de construção digital orientada a objetos, produtos e processos. O GD utiliza dados e monitoramento inteligente que reconhece o fluxo de informações em tempo real do projeto e permite um modelo de circuito fechado de monitoramento e controle de informações da construção. O *CPS* torna possível o monitoramento digital da cadeia produtiva da obra e análises de dados.

4. Tecnologias para aplicação de gémeos digitais

4.1. Contexto

Para Sacks et al. [5], os gémeos digitais aplicados à construção trazem a possibilidade da utilização de uma grande variedade de dados, através de tecnologias de monitoramento das atividades em campo, gerando informações e apoiando uma análise e tomada de decisão mais proativa, além de otimizar ações futuras relacionadas ao projeto, planejamento e execução.

Diferentes tipos de tecnologias de *hardware* e *software*, recentemente adaptadas e disponíveis para aplicação no setor da construção, podem ser utilizadas para a coleta de dados e geração de informações de diferentes características dos ambientes de produção como, por exemplo, relacionadas aos trabalhadores, insumos, materiais e equipamentos.

4.2. Estrutura de coleta, transmissão e análise de dados

Muitas vezes, colocada como uma tecnologia única, a *IoT* pode estar relacionada a diferentes tipos de dispositivos (hardware) como, por exemplo: sensores, atuadores, etiquetas de *RFID* (do inglês, "*Radio-Frequency IDentification*"), câmeras de vídeo e laser scanners [15]. E está relacionada também aos sistemas de informações, sejam eles softwares especificamente desenvolvidos para analisar os dados coletados ou, ainda, centralizadores de dados que se utilizam de modelos matemáticos mais simples, como ferramentas de análise estatísticas e/ou correlações, ou mais sofisticados, como algoritmos mais complexos de análise utilizando-se os conceitos de IA, que podem conter diferentes diretrizes de desenvolvimento, ou níveis de complexidade como, por exemplo, redes neurais artificiais, para desenvolvimento de métodos baseados em aprendizado de máquina (*ML*, do inglês, "*Machine Learning*"). Para You et al. [15], todas as diferentes camadas de tecnologia de hardware (dispositivos) e software (sistemas) darão subsídio para uma avaliação mais eficiente da performance, otimização de recursos, monitoramento de riscos, redução de emissões e consumo energético e entregas das características conforme projetadas. Para uma melhor compreensão sobre a estrutura de coleta, transmissão e análise dos dados, a Figura 1 traz uma representação das diferentes camadas de tecnologias, tanto de hardware como software, com o objetivo de proporcionar uma melhor visualização das interações entre os diferentes elementos que compõem o conceito de *IoT*, assim

como os sistemas e elementos de centralização e análise de dados, chegando-se ao conceito de Gémeos Digitais, ou seja, saídas de informações que possibilitem ações e respostas, através da geração de uma representação digital (ou modelo virtual) dos elementos físicos, proporcionando uma tomada de decisão baseada em dados e informações.

Figura 1
Estrutura de coleta, transmissão e análise de dados.

4.2.1. Estrutura de coleta de dados

A principal diferença entre a gestão realizada com o apoio dos Gémeos Digitais e as práticas atuais vem da utilização de dados para tomada de decisão, através do correta definição dos dados que agregam maior valor aos processos, geração de informações e conhecimento, apoiado por ferramentas como a IA para interpretação, análise, simulação e predição [5]. Algumas etapas são necessárias para que sejam alcançados os resultados esperados, ou seja, o processo de coleta dos dados, a validação dos dados coletados e a geração de informações relevantes e confiáveis para a tomada de decisão. Através da maior disseminação da *IoT*, tornando a aplicação das tecnologias mais viável e acessível, a forma de coleta de dados e o seu compartilhamento tem mudado. Como colocado por Barricelli et al. [1], a grande difusão de tecnologias como sensores e atuadores conectados à Internet, tem proporcionado o contínuo fornecimento e troca de dados. Além disso, as tecnologias e/ou dispositivos citados na primeira coluna da Figura 1, têm sido largamente disseminados e aplicados à construção civil nos últimos anos.

4.2.2. Conectividade e transmissão dos dados

A conexão remota entre dispositivos, fontes geradoras e receptoras de dados, assim como Gémeos Digitais, podem ser realizadas através de uma grande variedade de protocolos de comunicação. E, com o advento da *IoT*, diferentes tipos de protocolos podem ser selecionados [16]. No entanto, para cada aplicação podem ser detectadas

vantagens e desvantagens, conforme as aplicações na construção [16], podendo haver diferentes casos de uso, conforme citado anteriormente, dependendo da localização, acessos a redes de conexão, sendo necessária uma análise tanto da tecnologia quanto das possibilidades de conectividade da região, como apresentado na segunda coluna da Figura 1.

4.2.3. Análise dos Dados

O uso de ferramentas de análise de dados e IA tem ganho atenção no Setor da Construção. A análise de dados em tempo real, tanto dentro quanto fora dos ambientes de produção, tem a capacidade de melhorar a análise de riscos de segurança e atendimento a requisitos, proporcionando novas capacidades de predição e apoiando um sistema mais automatizado de aprendizado [16]. Da mesma forma, como no caso da definição das tecnologias de coleta e protocolo de transmissão, as técnicas ou ferramentas de análise estarão relacionadas aos objetivos específicos de interpretação desses dados para geração das informações que agregam maior valor aos processos, assim como a definição das aplicações onde serão consumidas essas informações. Levando isso em consideração, a terceira coluna da Figura 1 apresenta exemplos de tecnologias de entradas e/ou centralização dos dados coletados e de sistemas legados, ferramentas de análise desses dados e, por fim, as aplicações específicas para consumo das informações geradas pelos usuários.

5. Aplicação de Gémeos Digitais no ciclo de vida da construção

O Gémeo Digital pode ser aplicado em todas as fases da construção, para projeto, construção, operação e manutenção e, em todas as fases, ainda está em um estágio inicial ou conceitual, sendo que na fase de operação e manutenção já tem um maior número de aplicações e usos [3].

A Figura 2 apresenta os usos identificados para cada etapa do ciclo de vida da construção e que serão detalhados nas próximas subseções.

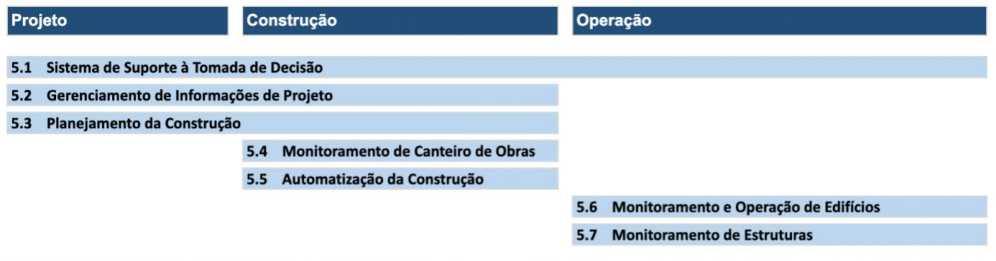


Figura 2
Aplicação de gémeo digital no ciclo de vida da construção.

5.1. Sistema de Suporte à Tomada de Decisão

A coleta de dados em tempo real, análise e representação das informações em um GD possibilita a construção de um sistema de suporte à tomada de decisão, que pode incluir diversas formas diferentes de visualização intuitiva de dados em tempo real, contribuindo para o processo de tomada de decisão na construção e consequente diminuição de erros [17]. Como é apresentado por Peng et al. [18], a utilização deste sistema mostrou um aumento de 10% em satisfação na gestão em comparação com dados históricos, diminuição de 1% ao ano no consumo geral de energia e mais de 10% de diminuição de chamados por falhas e reparos, por ter feito diagnósticos antecipados.

5.2. Gerenciamento de Informações de Projeto

Sacks et al. [5] desenvolveram uma metodologia para gerenciamento das informações nas etapas de projeto e construção com *Digital Twin Construction* (DTC) ou associado a diversas aplicações do gémeo digital na construção, como o planejamento e monitoramento do canteiro de obras. Dentre elas, destaca-se o desenvolvimento do projeto e de um sistema que não só reproduz o estado *as-built* do empreendimento, mas também envolve as informações do processo construtivo, incluindo informações de tomada de decisão.

5.3. Planejamento da Construção

Pan e Zhang [6] apresentam um estudo de caso em que é aplicado um framework para construção de um modelo 4D através da utilização de *BIM*, *IoT* e nuvem de pontos. Dessa forma, os gargalos que causam atrasos podem ser facilmente detectados no processo atual, através de previsões de cargas de trabalho futura, antecipação de riscos e realizar realização de avaliações de desempenho com o propósito de otimização. Consequentemente, as sugestões podem orientar o processo no local de trabalho. Assim, trabalhadores podem formular uma programação de construção mais racional com fluxos e cargas de trabalho com o objetivo de melhorar rapidamente a eficiência operacional e reforçar a cooperação no processo de construção física. Wang e Wu [19] apresentam um sistema baseado em *Digital Twins* para utilização de dados coletados em tempo real para programação de atividades e replanejamento de forma automatizada, diminuindo-se o intervalo de tempo entre o planejamento e a realização das tarefas.

5.4. Monitoramento de Canteiro de Obras

Através da modelagem *BIM* em tempo real com utilização de sensores e *IoT*, Lee e Lee [20] realizaram um estudo de caso com um framework de uma plataforma virtual de projeto de construção modular que possibilita simulação logística utilizando informações geográficas e SIG. Os autores também relataram que o GD eliminou o tempo ocioso e contribuiu com a entrega *'just-in-time'*, antecipando riscos e sugerindo novos

meios ou rotas alternativas em tempo real. O GD associado a sensores inseridos em equipamentos da construção também pode ajudar na prevenção de acidentes e diminuição de riscos de colisões, utilizando-se de modelagem *BIM* 4D e um sistema que calcula as probabilidades de colisão em tempo real e informa o operador do equipamento [21].

5.5. Automatização da Construção

Akanmu et al. [3] entendem o GD como um passo importante para a construção de um *Cyber-Physical System* que poderia ser utilizado para automatização de tarefas em lugares pouco seguros ou para aumento de produtividade. O sistema proposto envolve utilização de sistemas de captura e sensores para modelagem do ambiente construído e reprodução dos movimentos de trabalhadores por máquinas.

5.6. Monitoramento e Operação de Edifícios

O gémeo digital pode colaborar durante toda a vida útil do edifício. Por meio de simulações e acompanhamento em tempo real, é possível prever anomalias em equipamentos, realizar reparos e aprimorar a inteligência e vida útil do edifício [22] [23]. Khajavi et al. [24] elaboraram um método para construção de um gémeo digital da fachada de um edifício, resultando em redução do custo de manutenção, aumento do conforto dos ocupantes e redução dos custos operacionais da construção. A utilização do gémeo digital também é possível em edifícios existentes que possuem pouca ou nenhuma informação *as-built*, conforme apresentado por Moretti et al. [25] que desenvolveram uma metodologia *openBIM* para auxiliar a gestão de ativos nessas condições de forma mais efetiva, associando informações estáticas dos ativos com dados capturados em tempo real.

5.7. Monitoramento de Estruturas

Shim et al. [26] apresentam um sistema de monitoramento de pontes de concreto através de modelagem paramétrica e acompanhamento por sensores com scanners em *UAV* para identificação e danos superficiais, além de realização de manutenção preventiva baseada no processamento dos dados coletados. O monitoramento de estruturas em tempo real também contribui para a segurança e avaliação de risco para estruturas de aço protendido, através da medição dos esforços e deslocamentos dos cabos durante a protensão [27].

6. Conclusões

O gémeo digital, criado em 2003, desenvolveu-se primeiro em áreas como a indústria, aviação e aeroespacial e saúde e é recente o interesse pela sua aplicação na indústria da construção, onde pode ser considerado um novo fenômeno [1][5].

Na indústria da construção, o gémeo digital pode ter aplicação nas etapas de projeto, construção, operação e manutenção e com diferentes objetivos, que vão desde o suporte para a tomada de decisão, no gerenciamento das informações de projeto, no planejamento e acompanhamento da construção, até o monitoramento da operação do edifício construído. Assim como em outras indústrias que já avançaram na utilização do gémeo digital, na indústria da construção, o gémeo digital pode ser aplicado em qualquer classe de ativo, ou seja, a edificação (toda ou parte dela), nos recursos utilizados durante a fase de construção tais como equipamentos; materiais, pessoas e processos, e também em infraestruturas (pontes, estradas etc.) ou em cidades inteiras, tornando estes ativos inteligentes, no sentido do uso e troca da informação.

Observou-se neste trabalho de revisão que, com relação ao conceito de gémeo digital, a existência de certa zona cinzenta na definição e abrangência do conceito, por exemplo, foram encontradas referências ao *BIM* e ao *CPS* como se ambos fossem a representação de um gémeo digital. Os estudos de caso encontrados, em sua maioria, estão num estágio inicial ou conceitual, com um grau de maturidade mais baixo. Aqueles mais avançados estão no campo do acompanhamento da construção (de edifícios mais simples) com uso de *LiDAR*, geração de modelagem *BIM* e verificação de conformidade com o planejamento e predição de tarefas futuras, e da operação de edifícios. Tecnologias tais como IA e *Machine Learning* estão também em fase inicial em sua aplicação conjunta com Gémeos Digitais, na área da Construção.

Diante do recente interesse da indústria de construção civil na aplicação do gémeo digital, é um fato concluir que há muitas oportunidades de exploração do tema na academia e principalmente na indústria. Sacks et al. [5] observam que, para implementar o gémeo digital na construção civil, será necessário ultrapassar várias barreiras técnicas, sociológicas, organizacionais e comerciais. Na academia, a exploração de temas relacionados à utilização de IA na predição de comportamentos dos ativos, baseada em dados, pode ser uma linha interessante de pesquisa. Outros temas como a aplicação de tecnologias de monitoramento das atividades da construção civil em tempo real e sua integração com modelos digitais e disponibilização de informações para correção de rumos da construção é outra linha que desponta como promissora.

Referências

[1] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, e D. Fogli, *"A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications"*, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653--167671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953499.

[2] D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, e M. Rashidi, *"Digital twin application in the construction industry: A literature review"*, *J. Build. Eng.*, vol. 40, p. 102726, ago. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2021.102726.

[3] A. A. Akanmu, C. J. Anumba, e O. O. Ogunseiju, *"Towards Next Generation Cyber--Physical Systems and Digital Twins for Construction"*, *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 26, p. 505-525, 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.027.

[4] *"Digital Twin Consortium™". https://www.digitaltwinconsortium.org/initiatives/the-definition-of-a-digital-twin.htm* (acessado dez. 23, 2021).

[5] R. Sacks, I. Brilakis, E. Pikas, H. S. Xie, e M. Girolami, *"Construction with digital twin information systems"*, *Data-Centric Eng.*, vol. 1, ed 2020, doi: 10.1017/dce.2020.16.

[6] Y. Pan e L. Zhang, *"A BIM-data mining integrated digital twin framework for advanced project management"*, *Autom. Constr.*, vol. 124, p. 103564, abr. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103564.

[7] A. D'mello, *"Global digital twin market size to exceed $20bn by 2025 | IoT Now News & Reports"*, *IoT Now News – How to run an IoT enabled business*, jul. 08, 2019. https://www.iot-now.com/2019/07/08/97220-global-digital-twin--market-size-exceed-20bn-2025/ (acessado ago. 29, 2021).

[8] K. Costello e G. Omale, *"Gartner Survey Reveals Digital Twins Are Entering Mainstream Use"*, *Gartner*, fev. 20, 2019. https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-02-20-gartner-survey-reveals-digital-twins-are--entering-mai (acessado ago. 29, 2021).

[9] A. Dresch, D. P. Lacerda, e J. A. V. Antunes Júnior, *Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

[10] A. Akanmu e C. J. Anumba, *"Cyber-physical systems integration of building information models and the physical construction", Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 22, nº 5, pp. 516-535, 2015, doi: 10.1108/ECAM-07-2014-0097.

[11] C. Kan, C. J. Anumba, e J. I. Messner, *"Potential Use of Cyber-Physical Systems (CPS) for Planning and Operation of Mobile Cranes on Construction Sites",* in *Computing in Civil Engineering 2017: Sensing, Simulation, and Visualization*, New York, 2017, pp. 139-146.

[12] X. Yuan, C. J. Anumba, e M. K. Parfitt, *"Cyber-physical systems for temporary structure monitoring"*, *Autom. Constr.*, vol. 66, pp. 1-14, jun. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.02.005.

[13] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, e A. Y. C. Nee, *"Digital Twin in Industry: State-of-the-Art", IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 15, nº 4, pp. 2405-2415, abr. 2019, doi: 10.1109/TII.2018.2873186.

[14] F. Jiang, L. Ma, T. Broyd, e K. Chen, *"Digital twin and its implementations in the civil engineering sector"*, *Autom. Constr.*, vol. 130, p. 103838, out. 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103838.

[15] Z. You e L. Feng, *"Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System", IEEE Access*, vol. 8, pp. 122908--122922, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3007206.

[16] C. J. Turner, J. Oyekan, L. Stergioulas, e D. Griffin, *"Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities", IEEE Trans. Ind. Inform.*, vol. 17, nº 2, pp. 746-756, fev. 2021, doi: 10.1109/TII.2020.3002197.

[17] T. Greif, N. Stein, e C. M. Flath, *"Peeking into the void: Digital twins for construction site logistics", Comput. Ind.*, vol. 121, p. 103264, out. 2020, doi: 10.1016/j.compind.2020.103264.

[18] Y. Peng, M. Zhang, F. Yu, J. Xu, e S. Gao, *"Digital Twin Hospital Buildings: An Exemplary Case Study through Continuous Lifecycle Integration", Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, pp. 1-13, nov. 2020, doi: 10.1155/2020/8846667.

[19] Y. Wang e Z. Wu, *"Model construction of planning and scheduling system based on digital twin", Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 109, nº 7-8, pp. 2189-2203, ago. 2020, doi: 10.1007/s00170-020-05779-9.

[20] D. Lee e S. Lee, *"Digital Twin for Supply Chain Coordination in Modular Construction", Appl. Sci.*, vol. 11, nº 13, p. 5909, jun. 2021, doi: 10.3390/app11135909.

[21] M. Leonardo, N. Berardo, C. Alessandro, R. Luigi, e D. G. Giuseppe Martino, *"Development of a Digital Twin Model for Real-Time Assessment of Collision Hazards"*, in *Proceedings of the Creative Construction e-Conference 2020*, Online, 2020, pp. 14--19. doi: 10.3311/CCC2020-003.

[22] J. Nie, W. Xu, D. Cheng, e Y. Yu, *"Digital Twin-based Smart Building Management and Control Framework"*, *DEStech Trans. Comput. Sci. Eng.*, nº icaic, maio 2019, doi: 10.12783/dtcse/icaic2019/29395.

[23] Q. Lu, X. Xie, A. K. Parlikad, e J. M. Schooling, *"Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance", Autom. Constr.*, vol. 118, p. 103277, out. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103277.

[24] S. H. Khajavi, N. H. Motlagh, A. Jaribion, L. C. Werner, e J. Holmström, *"Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings"*, *IEEE Access*, vol. 7, pp. 147406-147419, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2946515.

[25] N. Moretti, X. Xie, J. Merino, J. Brazauskas, e A. K. Parlikad, *"An openBIM Approach to IoT Integration with Incomplete As-Built Data"*, *Appl. Sci.*, vol. 10, nº 22, p. 8287, nov. 2020, doi: 10.3390/app10228287.

[26] C.-S. Shim, N.-S. Dang, S. Lon, e C.-H. Jeon, *"Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model", Struct. Infrastruct. Eng.*, vol. 15, nº 10, pp. 1319-1332, out. 2019, doi: 10.1080/15732479.2019.1620789.

[27] Z. Liu, W. Bai, X. Du, A. Zhang, Z. Xing, e A. Jiang, *"Digital Twin-based Safety Evaluation of Prestressed Steel Structure"*, *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, pp. 1-10, set. 2020, doi: 10.1155/2020/8888876.

Metodologias de modelagem HBIM em adornos arquitetónicos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.45

Ieda Maria Nolla[1], **Giovane Zandonade Paulino**[2], **Marcelo Eduardo Giacaglia**[3], **Maria Lúcia Bressan Pinheiro**[4]

[1] *FAUUSP, São Paulo, 0000-0001-9187-1466*

[2] *FATEC-SP, São Paulo, 0000-0002-7936-889X*

[3] *FAUUSP, São Paulo, 0000-0001-9059-7805*

[4] *FAUUSP, São Paulo, 0000-0001-6269-875*

Resumo

O BIM é uma tecnologia em plena ascensão na área de AECO no Brasil, sendo sua principal utilização em projetos e construções novas. Em edificações de valor histórico, sua aplicação apresenta dificuldades na modelagem, dadas suas características construtivas e irregularidades na execução. O presente trabalho explora as possibilidades da criação de adornos arquitetónicos de edifícios antigos utilizando HBIM e avalia seus usos em restauração, gestão, conservação e memória, com a definição de uma metodologia de criação otimizada. Utilizando projetos, documentos históricos, fotografias, ortoimagens, nuvem de pontos e medições in loco, adornos foram modelados de duas maneiras em um *software* BIM autoral: a primeira totalmente fiel às leituras e medições obtidas e a segunda com menor complexidade, porém mantendo as informações e representação visual. Os resultados mostram que, no primeiro modelo, o software apresentou conflitos de modelagem e erros de geometria ao serem inseridos no edifício base. Já o segundo modelo apresentou melhores resultados, além de reduzir seu tamanho. Esse procedimento incluiu a proposição de uma métrica para o *Level of Detail*, com a finalidade de facilitar o seu desenvolvimento em HBIM e sua discussão.

1. Introdução

BIM (*Building Information Modelling*) é uma plataforma moderna, que de forma colaborativa permite que as disciplinas de AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) trabalhem concomitantemente de forma virtual. Os softwares estão voltados à projetos atuais, com bibliotecas de elementos, métodos construtivos e ferramentas de modelagem que ainda não são otimizadas para utilização em patrimônios culturais. O HBIM (*Heritage Building Information Modelling*) traz esse tema à tona, com a problemática da modelagem de bens culturais que normalmente não possuem documentação e com formatos irregulares, seja pelo método construtivo ou pelas particularidades da própria arquitetura.

Outro fator determinante no trabalho com o HBIM é definir o nível de informação necessária que o modelo deva apresentar para cada disciplina de trabalho, seja reforma, restauração, gestão, entre outros. Há muita confusão [1] em torno desses procedimentos devido ao grande número de siglas e definições entre países e, às vezes, dentro do mesmo mercado.

Para uniformizar e entender os termos usados, serão utilizados neste trabalho os conceitos de *Level of Development* (Nível de Desenvolvimento), *Level of Detail* (Nível de Detalhamento / Detalhes) e o *Level of Information Need* (Nível de Informação Necessária) e o Level of Accuracy (Nível de Acurácia).

O *American Institute of Architects* (AIA) publicou [2] e registrou o termo *Level of Development*: AIA E202-2008. Desde então, LOD – *Level of Development* é o grau em que a geometria do elemento e as informações anexadas foram pensadas.

As informações geométricas do modelo são o *Level of Detail* e tem como objetivo classificar o quão próximo do real está a geometria dos objetos e elementos usados no projeto.

Este trabalho retrata a realidade de modelar um Bem Cultural do século XVIII, suas dificuldades e como solucioná-las. No desenvolver do trabalho será utilizada a sigla LOD para *Level of Development*, para maior clareza, o Level of Detail não será utilizado acrônimo. O comitê ISO decidiu não utilizar o acrônimo no *Level of Information Need*, para salientar que ele não é uma ferramenta e sim uma estrutura de trabalho [3].

Inicialmente o texto faz um pequeno resumo de três padrões de nível de detalhe utilizados na literatura BIM, para compreensão do desenvolvimento do trabalho, em seguida são relatadas as problemáticas e suas soluções. No final há um debate sobre a realidade nas disciplinas voltadas para HBIM e qual nível de detalhe deve ser utilizado dentro dos citados nesse texto ou quanto a métrica a ser usada em cada caso.

2. Metodologia

Para a elaboração do estudo, foi utilizado o Bem Cultural do século XVIII, o Museu Solar da Marquesa de Santos [4], localizado na cidade de São Paulo, Brasil. Atualmente é um museu e um sítio arqueológico da sua própria história e da cidade. O edifício, originalmente de pau-a-pique, possui diversos elementos decorativos e particularidades construtivas, dado o seu histórico de reformas e alterações em sua estrutura e fachada. A documentação arquitetônica como projetos, documentos históricos, fotografias, ortoimagens, nuvem de pontos e medições in loco, foram obtidos com pesquisa bibliográfica e com o acervo do Departamento do Patrimônio Histórico da cidade de São Paulo.

Após análise dos documentos, foram estudados os padrões de LOD mais discutidos em trabalhos referentes a HBIM e a sua correlação com as disciplinas, como: restauro, gestão patrimonial, memória.

Realizado o estudo dos padrões, foi definido o nível de informação necessária para a realização do modelo nas disciplinas de restauro, gestão, projeto e registro da edificação.

O modelo, executado em *software* BIM autoral, seguiu em duas frentes: a primeira buscando atender a precisão obtida em leituras e medições da documentação e a segunda com menor nível de detalhe, buscando oferecer a quantidade de informação necessária para os usos previamente definidos. Por fim, é realizada uma discussão sobre os desafios encontrados no processo e na proposição de métrica para nível de detalhe geométrico dos elementos da construção, que seja aplicável a problemas do tipo, com base no estudo de caso deste artigo.

3. Fundamentação - Informações necessárias ao modelo BIM

No trabalho com a plataforma BIM é essencial identificar a que se destina o modelo, para evitar o excesso ou falta de informações, ou seja um retrabalho, para isso é necessário especificar o LOD [5] que ele deve atingir. Apesar desta importância, chegar a um acordo sobre LOD / *Level of Information Need* antes da implementação não é um processo padrão na prática [6]. Todos os profissionais que usam ferramentas e fluxos de trabalho em BIM em seus trabalhos diários já devem ter enfrentado o "dilema de troca de informações", ou seja, para entregar um projeto com eficácia, primeiro é essencial definir quais informações são necessárias, em que nível de detalhe [1].

Para tentar superar esse obstáculo foram criados protocolos direcionados a uma padronização do LOD que o modelo deve ter. Com o passar do tempo, esses protocolos são testados e acabam tendo mudanças, no formato e nos limites de atuação, como foi o caso do LOD que desde 2013, início de sua publicação, já passou por sete revisões, sendo sua última versão em 2021 [7].

O desdobramento da pesquisa trouxe uma série de reflexões na definição do LOD a ser utilizado. Para fundamentar esses questionamentos é descrito, a seguir, um resumo sobre três protocolos mais utilizados em trabalhos com BIM: o *Level of Development* (LOD), do AIA (American Institute of Architects), *Level of Model Detail*, pela AEC – Reino Unido e *Level of Information Need* (Nível de Informação Necessária) da norma ISO 19650 [8].

3.1. Level of Development - LOD (AIA - American Institute of Architects)

O *Level of Development*, desenvolvido pela AIA, E202-2008: *Building Information Modelling Protocol Exhibit*, está baseado na quantidade de detalhes e a quantidade de informação do modelo. A especificação dos dados a serem agregados a cada elemento do modelo vai depender da finalidade, ou seja do seu uso, e não tem relação direta com sua geometria. Por exemplo, quando um projeto é criado para participação de um concurso de obras, ele pode ter um alto detalhamento geométrico, mas pouca informação agregada a ele, que vai aumentar no desenvolvimento do projeto. O LOD vai depender exclusivamente das necessidades da utilização do modelo.

A métrica do AIA para o LOD [2] é a sequência numérica: 100, 200, 300, 350, 400 e 500. Trata-se de métrica orientada sobretudo a novas construções, desde a caracterização geral dos principais elementos, requeridos pelo programa de Necessidades ao qual estaria associado ao LOD100 até o detalhamento requerido à sua execução (LOD 400). O LOD 500 se refere ao que de fato foi executado, o que inclui eventuais desvios, acidentais ou propositais, em relação ao previsto.

No trabalho com HBIM, a edificação já existe, com processos construtivos muitas vezes desconhecidos e sem disponibilidade de tempo e de recursos para quaisquer pesquisas prévias.

3.2. *Level of Model Detail* (LOMD) - Reino Unido

O protocolo BIM da AEC (Reino Unido), UK 1192-3 [9] foi lançado pela primeira vez em novembro de 2009 e reúne o aprendizado e a experiência adquiridos desde então.

Após a publicação, proprietários de ativos e clientes internacionais (principalmente no Oriente Médio e na Austrália) também reconheceram seu benefício e começaram a exigir a adoção dos processos de gestão definidos na série UK 1192 em seus projetos. Como resultado, a comunidade internacional abordou a ISO e exigiu que a série UK 1192 fosse elevada a um nível internacional. Assim com base na série UK 1192, a série ISO 19650 permite que equipes de todo o mundo minimizem atividades desnecessárias e aumentem a previsibilidade de custo e tempo, por meio de uma abordagem comum para o gerenciamento de informações [10]. A diferença entre a série UK 1192 e a série ISO 19650 não é grande, somente que a UK 1192 alinhou com os requisitos editoriais da ISO para fazer certos compromissos e obter um consenso entre todos os membros da ISO [8].

Na ISO 19650 foi indicado que o *Level of Information Need* pode ser definido tanto sobre o padrão nível de desenvolvimento dos elementos quanto sobre outras diretrizes de modelagem [11], como por exemplo o do BIMForum LOD, UK1192 9, entre outros.

4. Proposição

O modelo BIM pode ser utilizado para verificação de interferências, planejamento, cálculos, inventários, gestão, entre outros. Para cada utilização há necessidade de um nível de desenvolvimento.

Com o HBIM o modelo final já existe, e muitas vezes com documentações arquitetônicas incompletas, que se perderam ao passar do tempo ou nunca foram criadas. Ao logo da história a edificação pode ter sofrido intervenções e patologias que se tornaram parte do edifício. Os padrões de nível de desenvolvimento não contemplam essa marca histórica, pois o seu foco está nas etapas do projeto e nos detalhes para sua produção. O HBIM necessita definir o nível de informação necessária para suas particularidades, ou seja, que permita capturar a passagem do tempo, representar intervenções, detalhar elementos arquitetónicos e permitir trabalhos genéricos, como o de gestão ou mapas de riscos.

Deste modo, este estudo propõe a definição do nível de informação necessária para a representação da geometria do Bem Cultural estudado, atendendo as características propostas da ISO 19650-1, com com o auxílio das definições e classificações publicadas pela AIA, pela PAS 1192-3 e pelo *U.S. Institute of Building Documentation* (USIBD) propondo uma nomenclatura para auxiliar em sua identificação.

4.1. Finalidades da modelagem

A pesquisa tem como objetivo estudar a modelagem de artefatos de um imóvel do século XVIII, utilizando os níveis de detalhamento, comparando-os e adequando-os aos usos de disciplinas de AECO em Bens Tombados.

Os modelos foram criados para atender a demanda do museu quanto a gestão da edificação, projeto de restauro, documentação de arquitetura e registro do estado de conservação atual.

Dado o escopo do artigo, foram selecionados três elementos distintos para modelagem:

- Molduras: utilizam o comando de extrusão por caminho (*Sweep*) dado seu formato, representavél por curvas polinomiais;
- Portas: que aparentam ter uma geometria simplificada, variação em suas dimensões e uma grande repetição dentro do modelo;
- Guarda-corpos: um elemento que combina as características anteriores e adiciona a necessidade de modulação.

5. Nomenclatura da métrica de detalhe geométrico utilizada no projeto

As categorias propostas para métrica de detalhamento, a seguir descritos, utilizam definições relacionadas ao nível de detalhe geométrico de cada modelo. As definições são compostas de: aparência do objeto, parametrização, nível de confiabilidade do objeto e a acurácia das dimensões, utilizando o USIBD *Level of Accuracy* (LOA) *Specification Guide* [12].

5.1. Escaneado

Modelos de alta precisão e detalhamento, foram recomendados na visualização arquitetônica e para registro do estado de conservação no momento do levantamento.

Objetos foram modelados em 3D utilizando nuvem de pontos, com aparência realista e precisão em relação a sua localização. Os modelos apresentam uma LOA40 [12], resultado da alta precisão dos equipamentos, mas de acurácia variável em função a superfície e a geometria dos elementos, como indicado pela categoria. A confiabilidade dos elementos pode ser classificada como *As Built* e, dado o nível de precisão, a parametrização dos elementos não é requerida.

5.2. Detalhado

Modelos de detalhamento médio/alto, foram recomendados para projetos de restauro, onde seria desnecessária a utilização de modelos excessivamente detalhados, pois podem exigir um alto poder de processamento.

Sua acurácia atende o LOA30, enquanto mantém a aparência realista. Os objetos são modelados em 3D e com parametrização parcial, em objetos que apresentem tal necessidade.

5.3. Simplificado

Modelos de detalhamento médio/baixo que retém os elementos arquitetónicos importantes da edificação e período, foram indicados para trabalhos mais generalistas, como projetos arquitetónicos ou projetos de gestão.

Os objetos desta categoria apresentam uma precisão LOA20 menor, que as categorias anteriores, pois são modelados em 3D, com aparência aproximada.

Estes elementos necessitam apresentar características do original pois sua confiabilidade se mantém como *As Built*, apesar da simplificação. Eles podem apresentar uma parametrização total de acordo com a necessidade do objeto. Por exemplo, uma janela parametrizada pode ter suas dimensões ajustadas para cada vão, de forma a agilizar a modelagem. Enquanto uma coluna não teria tal necessidade.

5.4. Genérico

Modelos de baixo detalhamento. Utilizados quando não é possível realizar levantamentos no local ou do objeto. Também recomendado em atividades onde a informação visual não é importante, como mapas de risco ou manutenção.

Os objetos apresentam modelagem 3D com acurácia LOA10 ou inferior para a geometria e posicionamento, e sua aparência se mantém simbólica.

6. Desafios da Modelagem

Dada as limitações do programa utilizado e das configurações do computador, não foi possível utilizar a nuvem de pontos para a modelagem dos elementos deste estudo. As peças a seguir foram criadas utilizando o traçado do perfil, retirado das nuvens de pontos em um *software* auxiliar, e modeladas em um software BIM autoral.

Podemos falar que nesse trecho, o programa não foi capaz de criar uma poligonal fechada, Por causa do ângulo e etc (...) Gerando vazios onde esta situação ocorre

6.1. Molduras

A fachada do Solar da Marquesa de Santos contém molduras de diferentes alturas. A maior delas se encontra sobre as janelas do piso superior e seu desenho combina diferentes tipos de curvas polinomiais com segmentos de retas, vide figura 1. Foi criado um perfil modelado no local utilizando a ferramenta de varredura (*Sweep*). Para o caminho da extrusão, segmentos de reta que compõem as arestas da fachada foram selecionados, em seguida foi realizada a extrusão.

O modelo escaneado foi capaz de reproduzir a sinuosidade das curvas polinomiais e todas as variações de curvatura. A ferramenta *Spline* apresenta a capacidade de ajuste dos pontos da função para reproduzir a referência da nuvem de pontos com facilidade.

Figura 1
Perfil da moldura/ Fachada do Solar da Marquesa. Autor: Próprios autores.

Finalizado o perfil, a varredura apresentou problemas em sua geometria: durante a visualização 3D, vazios apareceram ao longo da extrusão, assim como mostra a figura 2, apesar da representação 2D se manter correta. Ao testar outras variações de percurso, com segmentos de reta e angulações variáveis (mais agudas ou obtusas), além de outras ferramentas de criação de perfil, concluiu-se que o erro ocorre devido à combinação do uso da ferramenta Spline com o ângulo obtuso, dado pelo segmento da aresta da fachada. O spline juntamente com o ângulo obtuso, presente na fachada da edificação, criam uma poligonal que o programa não consegue calcular a superfície, causando uma abertura nos trechos onde esta combinação de elementos ocorre.

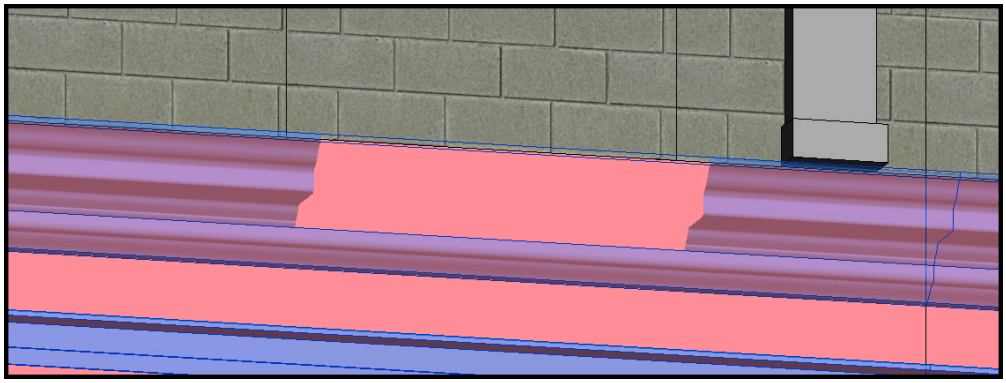


Figura 2
Erro na extrusão da moldura. Autor: Próprios autores.

A alternativa foi a construção do perfil utilizando uma sequência de arcos concordantes, por causa do detalhamento escolhido. Isso necessitou uma grande quantidade de arcos, o que tornou o processo de modelagem mais lento e exigiu mais processamento do computador.

Devido à finalidade do modelo, voltado para a gestão da edificação e projeto de documentação arquitetônica, a utilização de um detalhamento tão alto se mostrou desnecessária. Sendo assim, a simplificação do perfil para o nível Detalhado foi realizada.

Durante o processo, os arcos concordantes foram reduzidos a três segmentos e a acurácia do modelo foi reduzida para a ordem de LOA30. A Figura 3 apresenta uma sobreposição, onde temos o modelo Escaneado em rosa e o modelo Detalhado em azul.

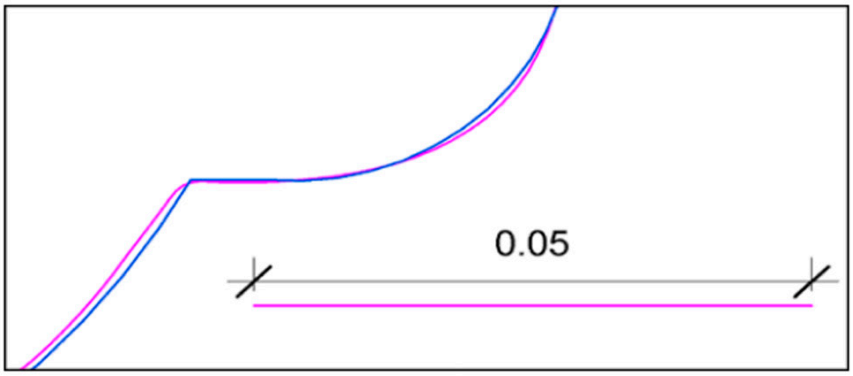


Figura 3
Sobreposição dos perfis com escalas diferentes. Autor: Próprios autores.

6.2. Portas

As portas foram modeladas com a criação de componentes, em primeiro momento com o modelo Escaneado. Elas apresentam um formato simples, com poucos detalhes em sua estrutura. Possuem duas folhas, com aparente simetria e moldura no lado externo. Durante a construção do modelo Escaneado, percebeu-se que as arestas do modelo, proveniente da nuvem de pontos, eram constituídas de irregularidades, com ausência de ângulos retos entre seus encontros. Os trechos compostos por curvas polinomiais continham uma leve alteração em seu formato, podendo ser confundida com arcos compostos.

Dado o alto nível de detalhe do modelo, cada porta precisaria ser modelada, de forma a representar as pequenas diferenças entre cada versão. O processo de modelagem desse objeto torna inviável o trabalho, pela quantidade de portas da edificação.

Outro problema é decorrente da forma de organização do software, pois para ele cada porta é um componente independente, por exemplo, em gestão, o fato de não poder ser criada cópias desta porta mesmo tendo geometria e classificação similar, o volume de dados aumenta, pois, cada porta seria um elemento único, dificultando a organização e leitura.

Inicialmente, foi proposta a criação das portas seguindo o modelo Detalhado, mas o LOA30 evidenciava variações entre alguns modelos de porta, onde uma parametrização das dimensões não seria o suficiente para solucionar o problema. Assim o modelo Detalhado construído não apresentava melhoras em relação ao Escaneado e dado o formato simples da porta, não houve prejuízo em utilizar o mesmo em projetos de restauro.

Por fim, foi proposto o modelo Simplificado, para os usos de gerenciamento e registro arquitetónico. Nesta categoria, as diferenças entre portas não eram mais visíveis, podendo realizar a parametrização e a definição de cada uma como instância de uma classe.

Por se tratar de um componente externo, foi possível comparar o tamanho do arquivo de cada porta, com o tamanho de 642 kB para uma das portas, modelada fielmente ao que foi escaneado, e 512 kB para o elemento correspondente, simplificado, definido como classe a ser referenciada a cada ocorrência do edifício. Apesar de arquivos pequenos, sua aplicação em um projeto apresentariam resultados diferentes, Pois, se forem, por exemplo, 20 portas, a memória dispendida seriam vinte repetições dos 642 kB, ao passo que, vinte instâncias de uma mesma porta consumiriam uma única vez os 512 kB e bem menos no caso das instâncias, dado que cada instância apenas necessita da informação do ponto de aplicação e orientação em relação a um sistema de coordenadas local, dispensando a repetição da sua descrição geométrica.

6.3. Guarda-Corpos

Os guarda-corpos do Solar da Marquesa de Santos foi mais complexo para execução da modelagem pois, além de não possuir um padrão de repetição linear, eles perderam seus contornos na criação da nuvem de pontos, tendo seus perfis metálicos representados sem a espessura real, situação que prejudicou a execução do modelo Escaneado por não atender a acurácia LOA40.

O modelo Detalhado do guarda-corpo foi criado com medição in loco do perfil e selecionando o trecho com menor quantidade de irregularidades. O programa apresentou conflitos para a criação do componente, pois o elemento é categorizado como balaústre, e exige a possibilidade de repetição dele ao longo do percurso do guarda-corpo. Nesta classificação, a dimensão do elemento precisa ser múltipla de uma seção do balaústre, caso contrário, o espaço resultante é representado como vazio. A solução para este conflito exige a construção de um componente do guarda-corpo para cada seção em que ele é instalado e, assim como as portas, este processo se torna inviável pela quantidade desse tipo de elemento, aliada à quantidade de detalhes e irregularidades presentes em cada um deles.

A construção de um modelo Simplificado soluciona estes problemas, porém não atende de forma satisfatória às necessidades dos projetos de restauro e conservação, que requerem informação e documentação complementar. A figura 4 apresenta o resultado do escaneamento e a versão simplificada do modelo, mostrando as diferenças entre elas e o resultado da simplificação.

Figura 4
Comparativo dos guarda-corpos. Autor: Próprios autores.

7. Discussão

Percebeu-se que da mesma maneira que o BIM demanda definir o uso final do modelo, o HBIM vai além, com a necessidade de estabelecer a importância de cada elemento da edificação, pelo alto custo do processo, escaneamento/modelagem, impedindo que seja adotado um mesmo *Level of Detail* constante para todos os elementos do modelo. Estas particularidades do HBIM permitem a discussão sobre o *Level of Information Need* da edificação em conjunto com o nível de informação possível de ser obtida com os processos de escaneamento, nuvem de pontos, documentação,

entre outros. Um bom exemplo seria a restauração de uma igreja, onde um altar necessita de mais detalhamento do que uma porta auxiliar. Na gestão de um Bem Cultural, onde a geometria tem papel secundário, o tamanho dos arquivos assume maior importância, tanto para a utilização de aplicativos quanto para a compatibilização com programas de gestão. Para fins de conservação da edificação, as informações agregadas ao modelo são mais relevantes do que suas representações gráficas. Em ambos os casos o modelo Simplificado atende as necessidades sem descaracterizar o modelo em relação a edificação.

O modelo Genérico, mesmo não utilizado nos estudos, supre a necessidade de representar um elemento de forma simbólica em casos em que não foi possível realizar o levantamento e a informação contida se baseia apenas em metadados e documentação.

Para fins de registro do estado de conservação de um edifício o alto nível de detalhamento do modelo Escaneado atinge as necessidades, mas a existência de programas específicos e otimizados para esses projetos, que exigem grande poder de processamento e trabalham com texturização, torna desnecessário o uso no software BIM autoral nesta situação.

O *Level of Detail* voltado para HBIM requer uma padronização específica, mais detalhada, que contemple minucias do Bem Cultural.

A intenção futura é analisar mais profundamente as necessidades das disciplinas que envolvem um Bem Tombado para o modelagem em HBIM e propor uma métrica de níveis de detalhamento para as disciplinas e formas de levantamento.

Referências

[1] M. Bolpagni. (2016). "The Many Faces Of 'Lod'", [On-line]. Disponível: <https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>. Acessado em: Jun., 12, 2021.

[2] AIA Document E202 – 2008, Building Information Modeling Protocol Exhibit, Washington, EUA, 2008.

[3] European Federation of Engineering Consultancy Associations. "BIM and ISO 19650 from a project management perspective". [On-line], booklet on ISO standard 19650. Disponível: <https://www.rif.no/wp-content/uploads/2020/01/BIMbooklet390764_18_RIF.pdf>. Acessado em: Ago., 16, 2021.

[4] Museu da cidade de São Paulo. "Solar da Marquesa de Santos", [On-line]. Disponível: <https://www.museudacidade.prefeitura.sp.gov.br/sobre-mcsp/>. Acessado em: Fev., 13, 2019.

[5] Latiffi, A.A., Brahim, J., Mohd, S. and Fathi, M.S., 2015. "Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction

Projects. Applied Mechanics and Materials", [O-nline]. Disponível: <https://www.scientific.net/AMM.773-774.933>. Acessado em: Mar.,22, 2021.

[6] Biljecki, F., Ledoux, H. and Stoter, J., 2016. "An improved LOD specification for 3D building models. Computers, Environment and Urban Systems", [On-line]. Disponível: <https://www.researchgate.net/publication/302975069_An_improved_LOD_specification_for_3D_building_models>. Acessado em: Mai., 23, 2021.

[7] J. Bedrick, W. Ikerd, J. Reinhardt. "Level of development (Lod) Specification for building information models part I, guide, & commentary". BIMForum: Washington DC, 2021.

[8] A. Kemp. "Information management according to BS EN ISO 19650". Guidance Part 2: Processes for Project Delivery. 2020. [Artigo] Disponível: <https://www.ukbimalliance.org/wp-content/uploads/2019/07/Information-Management-According-to-BS-EN-ISO-19650_-Guidance_Part2_Processes_Print.pdf>. Acessado em: Mai., 11, 2021.

[9] PAS 1192-2, AEC (UK) BIM Technology Protocol. 2015.

[10] P. Shillcock. 2019. "From BS 1192 to ISO 19650 and everything in between. NBS – National Building Specification", [On-line]. UK, 2019. Disponível: <https://www.thenbs.com/knowledge/from-bs-1192-to-iso-19650-and-everything-in-between>. Acessado em: Out., 06, 2021.

[11] R. Alshorafa, E. Ergen. 2020". Identification of information requirements for implementing building information modeling based on model uses", [On-line]. Artigo, Journal of Information Technology in Construction, ITCON, vol. 25, 2020 - ISSN 1874-4753. Disponível: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.032>. Acessado em: Jul., 21, 2021.

[12] Document C120, "Guide for USIBD Document C220TM: Level of Accuracy (LOA) Specification for Building Documentation", U.S. Institute of BUILDING DOCUMENTATION, v. 3.0, 2019.

Integração de metodologias de avaliação do ciclo de vida em ferramentas BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.46

Maria Teresa Ferreira[1],
António Aguiar Costa[1,2], **José Dinis Silvestre**[1]

[1] *CERIS, Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa (UL), Lisboa*

[2] *UILT Colab, Collaborative Laboratory for the Digital Built Environment, Porto*

Resumo

O setor da construção é responsável por 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO_2 na Europa, tendo o desempenho energético e ambiental dos edifícios uma contribuição significativa para a diminuição destes impactes a nível mundial.

A atual revolução tecnológica, na qual se incluem novas metodologias no sector da construção como o *Building Information modeling* (BIM), são vistas como oportunidades de associar o desenvolvimento tecnológico a uma otimização de recursos e menor impacte ambiental do edificado.

Da revisão da literatura e das ferramentas atuais no mercado, verifica-se que existem sinergias que ainda podem ser exploradas entre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o BIM. Nesse sentido, foram analisadas as metodologias mais atuais de ACV de edifícios, como o *Level(s)*, e implementadas integrações destas metodologias com uma ferramenta BIM desenvolvida para o efeito. O objetivo é que a aplicação seja utilizada pelos projetistas ao longo de todo o processo de desenvolvimento do projeto, permitindo uma otimização integrada do desempenho dos edifícios.

Os resultados obtidos têm como finalidade contribuir para se atingir os ambiciosos objetivos traçados no *Green Deal* Europeu de redução das emissões de carbono em 55% até 2030 e da Europa ser um continente neutro em carbono em 2050, através da utilização de uma aplicação BIM que ajude a otimizar o impacte ambiental da construção e dos edifícios.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; *Building Information Modeling;* Construção; Edifícios; Transição Digital.

1. Introdução

Alinhado com os ambiciosos objetivos estabelecidos em 2015 no acordo de Paris, o *Green Deal* Europeu tem como objetivo reduzir as emissões de carbono em 55% ou mais até 2030 e tornar este continente neutro em carbono até 2050 [1,2].

O setor da construção na Europa tem um impacte ambiental significativo [3], sendo responsável por cerca de 40% do consumo de energia e 36% das emissões de gases com efeito de estufa [4].

Com a atual crise climática, a aplicação de metodologias de avaliação ambiental e de custo do ciclo de vida são alvo de processos de normalização a nível europeu [7,8] estando a ganhar progressiva importância entre a indústria e os investigadores. Entre os métodos mais utilizados estão a Avaliação ambiental do Ciclo de Vida (ACV) dos edifícios, no qual se inclui a categoria de Potencial de Aquecimento Global (PAG) [6], e a análise de Custo do Ciclo de Vida (CCV). À medida que o paradigma do Ciclo de Vida (CV) emerge na indústria, os materiais de construção e os edifícios são vistos como o somatório de todos os impactes ambientais e custos nos respetivos ciclos de vida, sendo valorizada uma análise global do edificado.

O sector da construção tem um papel crucial no processo de descarbonização [3]. Contudo, a falta de interoperabilidade entre as normas da União Europeia (UE) para a sustentabilidade e as ferramentas utilizadas pelo sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é uma questão crucial para atingir as tão importantes metas climáticas. O objetivo desta investigação é agregar as ambições ambientais com tecnologia, através da metodologia do *Building Information Modelling* (BIM), criando uma aplicação capaz de avaliar os impactes ambientais e custos e, assim, ajudar o sector da AEC a tomar decisões ao longo do CV do edificado, desde a fase inicial conceptual até ao seu fim de vida.

A investigação em curso está alinhada com as diretrizes da UE para a sustentabilidade e impacte do sector da construção no meio ambiente, nomeadamente a metodologia *Level(s)* [9].

As ferramentas e plataformas existentes de análise do CV disponíveis no mercado foram analisadas pelos autores, como por exemplo a *Tally* e a *One Click LCA*. Dessa análise, foram encontradas algumas lacunas, como a falta de interoperabilidade entre ferramentas, os limitados parâmetros de análise, as bases de dados limitadas, assim como a falta de bibliotecas BIM com informação necessária à ACV. Lacunas essas que se pretende colmatar no *plugin* proposto neste artigo.

O artigo está organizado em 5 secções, incluindo esta introdução (secção 1). A secção 2 apresenta a metodologia *Level(s)*, o seu enquadramento, estado da arte, e as diretrizes da UE – *Level(s)*. A secção 3 corresponde ao Desenvolvimento, que inclui, no ponto 3.1, o modelo conceptual, o fluxograma, as funcionalidades do *plugin* e os *Product Data Templates* (PDT), e, no ponto 3.2, o modelo analítico das diversas

funcionalidades. Na secção 4 são analisados os principais resultados. Na secção 5 são apresentadas as principais conclusões e contributos.

2. Metodologia *Level(s)*

A metodologia *Level(s)* estabelecida pela UE [9] para a sustentabilidade do ambiente construído no seu CV pretende alinhar todas as avaliações existentes numa metodologia universal na Europa. Esta metodologia considera unidades de análise baseadas em seis macro objetivos que se ramificam em parâmetros de análise, estabelecendo unidades de medida para todas as fases do CV do edificado, desde a fase inicial conceptual até ao fim de vida, abrangendo tanto projetos de construção nova como de reabilitação [9]. Contribui-se assim para que todos os estados-membros cumpram os objetivos estabelecidos para a redução do uso de energia, do consumo de matérias-primas, de materiais, e de água, e da produção de resíduos, numa perspetiva de CV [9].

Com o objetivo de trazer os edifícios para a Economia Circular (EC), o *Level(s)* estabelece um conjunto de indicadores, cenários de aplicação, recolha de dados, listas de parâmetros a cumprir, e sistemas de avaliação, possibilitando aos profissionais do sector da AEC uma avaliação estandardizada da performance dos edifícios [10].

3. Desenvolvimento

Para realizar uma ACV baseada na metodologia estabelecida no *Level(s)*, foi necessário estudar os indicadores estabelecidos e filtrar quais podem ser lidos num ambiente BIM, através dos seus objetos e/ ou elementos, para que possam ser convertidos em parâmetros de análise no âmbito dos estudos de ACV.

Dos seis macro objetivos do *Level(s)*, foram selecionados os que são necessários para a ACV: objetivo 1 – Emissões de gases com efeito de estufa ao longo do CV (GWP), que abrange o potencial de aquecimento global; e objetivo 6 – Otimização dos CCV. Da análise destes macro objetivos, foram selecionados os seguintes indicadores: GWP medido através das emissões de CO_2 e, tal como sugerido nas diretrizes da UE para aprofundar a ACV [11], foram adicionados os outros indicadores alinhados com a EN 15804:2012+A2:2019 [5]: potencial de depleção de recursos abióticos (ADP) (minerais e metais; fósseis); potencial de acidificação (AP); potencial de eutrofização (EP) (água fresca, marinhos, terrestres); GWP (além do total, fóssil, biogénico, e uso do solo); potencial de depleção da camada de ozono (ODP); potencial de oxidação fotoquímica (POCP); consumo de água (potencial de privação, consumo de água ponderado pela privação) (WDP). Para atingir o macro objetivo 6 - otimização do CCV e valor, foram introduzidos indicadores para as fases de produção e construção, utilização e fim de vida. Para a analise do CCV foram também considerados parâmetros para incluir os custos iniciais, anuais, e outros periódicos.

3.1. Modelo Conceptual (Fluxograma e Funcionalidades)

O ambiente de trabalho escolhido para o desenvolvimento da ferramenta (plugin) foi o software BIM *Revit* da *Autodesk*. O *plugin* desenvolvido combina 6 tipos de análises nas suas funcionalidades: 1 - ACV simples; 2 - ACV completa; 3 – *Level(s)* ACV; 4 – *Level(s)* GWP; 5 – Pegada de carbono; 6- CCV. Nas Figuras 1 e 2 está representada a interface com o utilizador, onde é possível escolher a análise a realizar.

Para realizar cada uma das análises foram selecionados os indicadores necessários, com o objetivo de serem convertidos para parâmetros partilhados que são lidos num ambiente BIM em objetos e/ ou elementos construtivos. Esta informação foi sistematizada e estruturada no PDT (tabela 1) por funcionalidade, incluindo os parâmetros necessários para que os projetistas possam fazer uma avaliação holística e dinâmica ao longo de qualquer fase do projeto, desde a fase inicial até uma análise completa de ACV que remete para o final do projeto.

Da Tabela 1, conclui-se que alguns parâmetros são transversais a diversos tipos de análises.

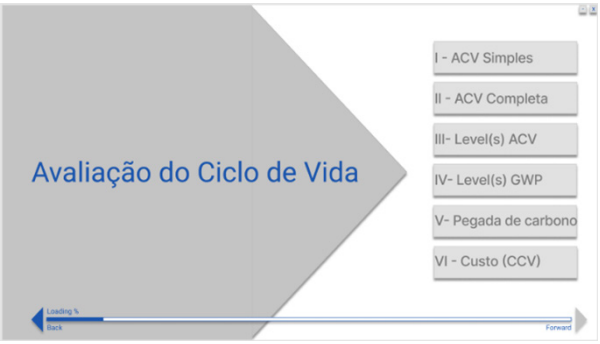


Figura 1
Interface com o utilizador: Funcionalidades disponíveis para análise.

A Figura 3 representa o fluxograma com a arquitetura do *plugin* e a sua interface com o utilizador, com perguntas que vão conduzindo o utilizador para uma ACV cada vez mais aprofundada.

Tabela 1
Product Data Template por funcionalidade para os objetos BIM.

	ACV Simples	ACV Completa	*Level(s)* ACV	*Level(s)* GWP	Pegada de Carbono	CCV	Unidade
ADP -Minerais e Metais	x	x	x				kg Sb eq.
ADP -Fósseis	x	x	x				MJ
AP	x	x	x				mol H^+ eq.
EP –Água fresca	x	x	x				kg PO_4^{3-}eq.
EP -Marinhos	x	x	x				kg N eq.
EP -Terrestres	x	x	x				mol N eq.
GWP -Total	x	x	x	x	x		kg CO_2eq.
GWP -Fósseis	x	x	x	x	x		kg CO_2eq.
GWP -Biogénico	x	x	x	x	x		kg CO_2eq.
GWP –Uso do solo	x	x	x	x	x		kg CO_2eq.
ODP	x	x	x				kg CFC-11 eq.
POCP	x	x	x				kg NMVOC eq.

WDP	x	x	x			m^3 world eq.
Tipo de transporte			x			-
Distância de transporte			x			km
Consumo de Energia			x			kWh
Consumo de água			x			m^3
Consumo de gás			x			MJ
Resíduos gerados e desperdício			x			%
Custos Iniciais			x		x	€/m^2/ano
Vida útil			x			Anos
Taxa desconto			x			%
Manutenção, reparação e substituição			x			Anos

3.2. Modelo analítico

Depois de definido o modelo funcional e as estruturas de informação necessárias ao cálculo das diversas ACV, é importante definir de forma rigorosa o modelo analítico de cálculo que, com base na informação introduzida pelo projetista no modelo, irá calcular os diversos indicadores.

Os cálculos estão alinhados com os módulos do CV estabelecidos na norma EN 15804:2012+A2:2019 [5]: A1-A3 – Produção, A1 – Extração de matérias-primas, A2 – Transporte para a fábrica e A3 – Produção; A4-A5 – Construção. A4 – Transporte e A5 – Construção e processo de instalação; C – Fim de vida, C1 – Desconstrução/ Demolição, C2: Transporte para processamento de resíduos, C3 – Processamento de resíduos e C4 – Eliminação de resíduos; D – Benefícios e cargas para além das fronteiras do sistema (reutilização, recuperação, e potencial de reciclagem).

Figura 2
Interface com o utilizador: Funcionalidade ACV simples selecionada.

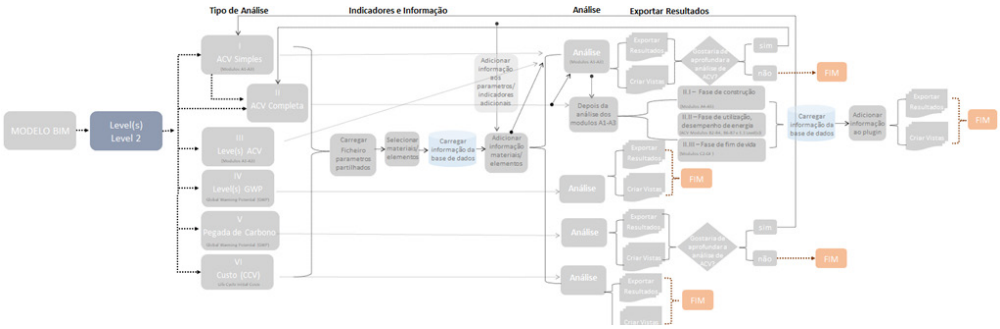


Figura 3
Fluxograma da aplicação.

3.2.1. Modelo analítico de cálculo: ACV Simples, ACV completa e *Level(s)* ACV

O cálculo analítico da ACV simples, da ACV completa e da *Level(s)* ACV tem em consideração um vasto número de indicadores ambientais já explicitados na tabela 1. Para os cálculos correspondentes às fases de produção da ACV Simples e da *Level(s)* ACV (Módulos A1-A3), deve usar-se a equação (1). Para os cálculos correspondentes às fases de produção e construção da ACV completa (Módulos A1-A5), deve usar-se a equação (2) [13].

$$EI_x^{MC} = \sum_{a=1}^{i} (Q_a^M \, x EI_a^M) \tag{1}$$

$$EI_x^{MC} = \sum_{a=1}^{i} (Q_a^M \, x EI_a^M) + \sum_{b=1}^{j} (D_b^V \, x \, n \, x \, EI_b^V) + \sum_{c=1}^{k} (Q_c^{Con} \, x EI_c^{Con}) + L \, x \, [A1 - A3] \tag{2}$$

EI_x^{MC} Categoria de impacte ambiental (x) resultado das fases de produção e construção– módulos A1-A5;

i, j, k Número de materiais existentes (i), transporte (j) e construção (k);

Q_a^M Quantidade de materiais (a);

EI_a^M Categoria de impacte ambiental (x) de materiais (a);

D_b^V Distância do fornecedor até ao local da construção, multiplicado pelo número de viagens (n);

EI_b^V Categoria de impacte ambiental (x) de transporte b;

Q_c^{Con} Consumo de utilização (c) ao longo da construção (ex.: consumo de eletricidade (kWh), gás (MJ), água (m^3));

EI_c^{Con} Categoria de impacte ambiental (x) de utilização (c);

L Percentagem de resíduos de materiais durante a fase de construção.

3.2.2. Modelo analítico de cálculo do *Level(s)* GWP e da pegada de carbono

Para o modelo analítico de cálculo do *Level(s)* GWP e da Pegada de Carbono é considerada a categoria de impacte ambiental GWP como indicador único, que consiste nas emissões de CO_2 medidas em kg CO_2eq., conforme a equação (3), tendo em consideração o GWP Total, o GWP fósseis, o GWP biogénico e o GWP uso do solo.

$$EI_x^{MC} = \sum_{a=1}^{i} (Q_a^M \, x EI_a^M) \tag{3}$$

EI_x^{MC} Categoria de impacte ambiental (x) resultado das fases de produção e consrução – módulos A1-A5;

Q_a^M quantidade de materiais (a);

EI_a^M Categoria de impacte ambiental (x) de materiais (a).

3.2.3. Modelo analítico de cálculo de CCV

A equação (4) remete para o cálculo do CCV total. A funcionalidade CCV integra C^{MC} - custos iniciais resultantes da fase de produção e construção - módulos A1-A5, tendo em consideração a sua relação com o custo do transporte até ao local da edificação/construção multiplicado pelo número de viagem necessárias expressas em km.

$$C=C^{MC}+C^{O}+C^{EOL}+P^{D} \tag{4}$$

C^{MC} Custo resultante das fases de produção e construção - módulos A1-A5, que pode ser calculado seguindo a equação (6);

C^{O} Custo resultante da fase de operação – módulos B;

C^{EOL} Custo resultante da fase de fim de vida – módulos C;

P^{D} Custo resultante do transporte de resíduos materiais.

Para o cálculo analítico dos impactes económicos correspondentes às fases de produção (Módulos A1-A3) deve usar-se a equação (5). Para os cálculos correspondentes às fases de produção e construção do CCV completo (Módulos A1-A5) deve usar-se a equação (6) [13].

$$C^{MC} = \sum_{a=1}^{i} (Q_a^M \, x \, AC_a^M) \tag{5}$$

$$C^{MC} = \sum_{a=1}^{i} (Q_a^M \, x \, AC_a^M) + \sum_{b=1}^{j} (Q_b^M \, x \, C_b^{C2B}) + \sum_{c=1}^{k} (Q_c^{Con} \, x \, C_c^{Con}) + L \, x \, [A1 - A3] \tag{6}$$

C^{MC} Custo resultante das fases de produção e construção - módulos A1-A5;

i, j, k Número de materiais existentes i, j e serviços de construção k;

Q_a^M, Q_b^M Quantidade de materiais a ou b utilizados na construção;

AC_a^M Custo de aquisição do material a;

C_b^{C2B} Custo de construção/ montagem de elementos construtivos (ex.: custo de aplicar 1 m^2 de argamassa);

Q_c^{Con} Consumo de serviços c durante a fase de construção;

C_c^{Con} Custo dos serviços c;

L Percentagem de resíduos materiais gerados durante a fase de construção.

4. Resultados

Com a base de dados carregada pelo *plugin*, os cálculos são gerados e são emitidos para um relatório em Excel; em paralelo há também a possibilidade de gerar um sistema de vistas 3D com alocação gráfica de cores para os diferentes impactes ambientais e análises. Possibilita-se assim, em paralelo, uma análise quantitativa do impacte do projeto e uma análise gráfica com sistema de cores dos seus impactes (Figuras 4 e 5).

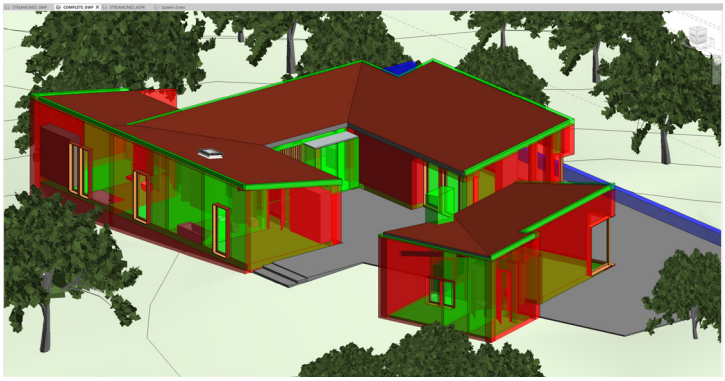


Figura 4
Exemplo de vista 3D da análise completa de GWP.

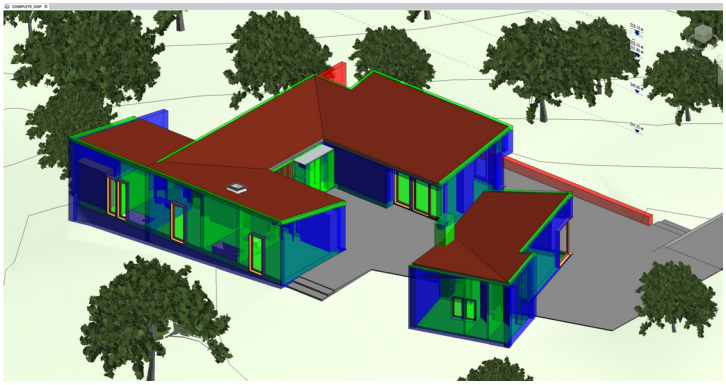


Figura 5
Exemplo de vista 3D da análise completa de ODP.

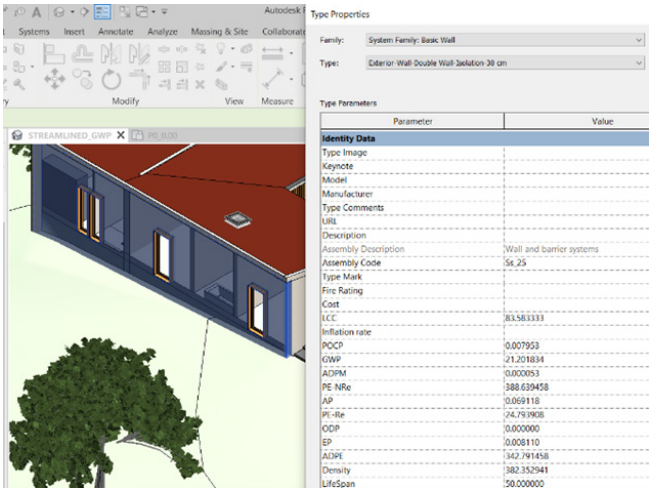


Figura 6
Indicadores de impacte ambiental incorporados nas propriedades de uma parede em Revit.

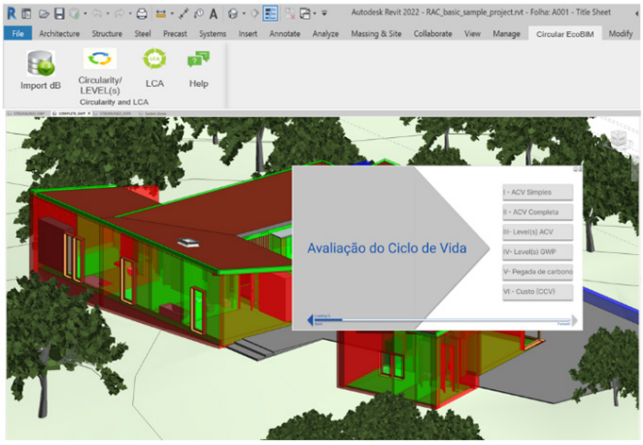


Figura 7
Plugin no ambiente de trabalho do Revit, funcionalidades.

A figura 6 mostra o ambiente de trabalho no Revit para o exemplo de uma parede dupla exterior com isolamento, com os indicadores de impacte ambiental (tabela 1) para a ACV inseridos através dos parâmetros partilhados deste software. A informação adicionada pelo plugin através da base de dados é armazenada nas propriedades do modelo (figura 6), neste caso nas propriedades da família de objectos BIM correspondente. A figura 7 corresponde ao plugin em funcionamento no ambiente de trabalho do Revit no menu onde é possível escolher a funcionalidade a executar. Na figura 8 é possível ver o plugin em funcionamento no Revit, onde ao seleccionar a análise Level(s) LCA o plugin lista os indicadores necessários para essa avaliação ambiental.

Com o intuito de levar o uso do BIM ao seu limite, a informação recolhida nas bases de dados é armazenada no modelo e possível de exportar para Excel em relatório. A interface com o utilizador possibilita uma visualização gráfica dos impactes das escolhas dos projetistas com o objetivo de dar apoio às decisões dos mesmos para projetar edifícios mais sustentáveis.

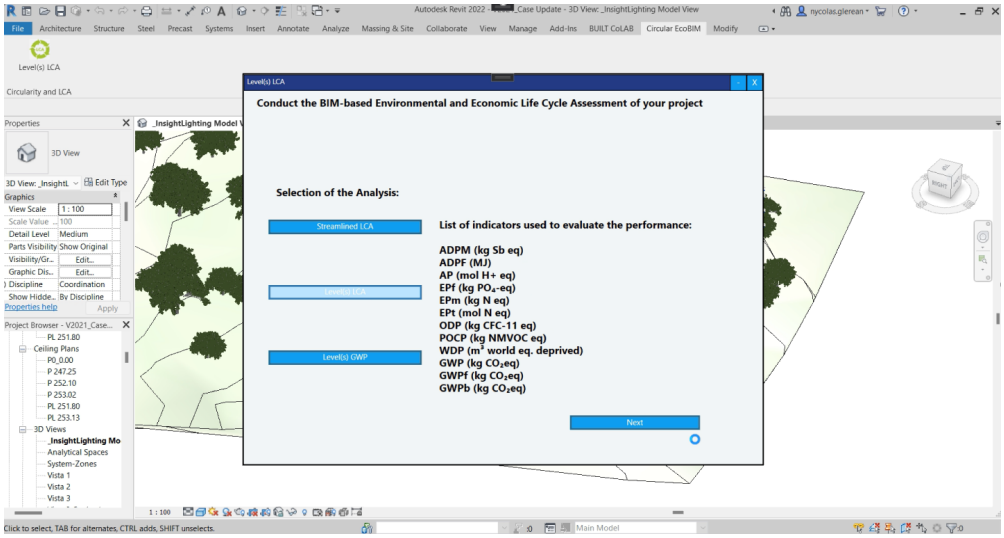


Figura 8
Imagem do Plugin em funcionamento.

5. Conclusões

O potencial de uso de tecnologias inovadoras, como o BIM, muda o paradigma de como a avaliação da sustentabilidade é conduzida [13].

No que diz respeito à digitalização no sector da AEC, o desenvolvimento de uma metodologia e ferramenta associada são essenciais para a concretização de projetos de edifícios direcionados para o desempenho (*Performance driven architectural design of buildings*) [14]. Nesse sentido, com os resultados apresentados, os autores acreditam que uma ferramenta *user-friendly* para fazer simulações de diferentes cenários de análises de sustentabilidade vai ajudar os projetistas e toda a indústria da AEC a tomarem decisões com menor impacte ambiental. O tempo e esforço despendido em cada análise será menor do que o atualmente acontece, e o uso de um interface gráfico proporciona aos que tomam decisões as ferramentas necessárias para que os edifícios sejam mais sustentáveis.

Em conclusão, a abordagem sistematizada e o rápido acesso a bases de dados, através do uso de uma ferramenta BIM, simplifica a implementação da ACV e a integração com o *Level(s)*.

A integração de diferentes tipos de análises ambientais e económicas, nomeadamente a ACV simples, a ACV completa, a *Level(s)* ACV, a *Level(s)* GWP, a Pegada de carbono e o CCV, com o BIM possibilita aos projetistas e ao sector da AEC uma rápida integração nos seus projetos e visualização dos impactes ambientais dos seus edifícios. Possibilita ainda estudar melhores alternativas construtivas, colaborando ativamente para a redução da contribuição da indústria da construção para as alterações climáticas, dando oportunidade ao projetista de escolher a análise que mais se adequa ao seu projeto e à fase em que este se encontra. Em complemento, é também possível calcular os custos associados aos elementos e materiais de projeto, assim como o tipo de transporte utilizado para o local da obra e a distância ao mesmo, sendo assim possível fazer uma análise ACV completa.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto Circular EcoBIM, financiado pelas *EEA Grants*, enquadrado no programa Ambiente. Os autores agradecem também o apoio do centro de investigação CERIS, no IST-UL, e da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT).

Os autores gostariam ainda de expressar o seu agradecimento ao Atelier dos Remédios na pessoa do Professor Francisco Teixeira Bastos por providenciar o caso de estudo.

Referências

[1] EC, 2020b. Communication from the European Commission: A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives. COM(2020)662. Brussels, Belgium.

[2] EC, 2021a. Retrieved March 11, 2021, from https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en

[3] EC, 2019a. Communication from the European Commission: The European Green Deal. COM (2019) 640, 12 December 2019. Brussels, Belgium.

[4] EC, 2010. Retrieved March 11, 2020, from https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12910-Revision-of-the-Energy-Performance-of-Buildings-Directive-2010-31-EU

[5] EN15804:2012+A2:2019, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.

[6] Santos, R.; Costa, A. A.; Silvestre, J. D.; Vandenbergh, T.; Pyl, L., 2020a. BIM-based life cycle assessment and life cycle costing of an office building in Western Europe. Building and Environment. 169, 106568, February, DOI: 10.1061/9780784480847.007

[7] CEN, 2011. Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 2: Framework for the assessment of environmental performance. EN 15643-2. Brussels, Belgium, Comité Européen de Normalisation.

[8] CEN, 2012. Sustainability of construction works – Assessment of buildings – Part 4: Framework for the assessment of economic performance. EN 15643-4. Brussels, Belgium, Comité Européen de Normalisation.

[9] EC: LEVEL(S) Putting whole life carbon principles into practice. 2021, doi:10.2779/79139

[10] EC: LEVEL(S) Putting circularity into practice. 2021, doi:10.2779 /19010

[11] Dodd,N., Donatello,S., & Cordella.M. 2020. Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) User manual: overview, instructions and guidance (publication version 1.0).

[12] Martina Frigeni, S., 2018. Development of a BIM-based product data template for sustainability, Master's degree thesis in *ARC I – Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni, Politecnico di Milano.* http://hdl.handle.net/10589/143041

[13] Santos, R.; Costa, A. A.; Silvestre, J. D.; Pyl, L., 2019. Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment. Automation in Construction. 103, 127-149, March, DOI: 10.1016/j.autcon.2019.02.011

[14] Santos, R.; Costa, A. A.; Silvestre, J. D.; Pyl, L., 2019. Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction. Automation in Construction. 103, 221-234, July, DOI: 10.1016/J.AUTCON.2019.02.022

[15] Shi, Xing; Yang Wenjie. Pyl, L., 2013. Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Automation in Construction*. 125-135, 28th February, DOI: 10.1016/j.autcon.2013.01.015

Manutenção preventiva de edifícios com recurso ao BIM

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.47

Raquel Matos[1], **Hugo Rodrigues**[2],
Ana Dinis Alves[3], **Aníbal Costa**[4], **Fernanda Rodrigues**[5]

[1] *RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0002-0171-7842*

[2] *RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0003-1373-4540*

[3] *RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0002-9668-9863*

[4] *RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0001-8950-4843*

[5] *RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0001-9127-7766*

Resumo

A gestão da manutenção dos edifícios tem vindo a sofrer mudanças significativas desde a implementação da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) no sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Porém, o desenvolvimento, consulta e gestão de planos de manutenção preventiva com recurso a software ainda é um trabalho moroso e desafiante.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma metodologia de otimização da gestão da manutenção com suporte no BIM. Para este efeito, a metodologia BIM é associada à gestão da manutenção do edifício através da interoperabilidade entre a ferramenta *Revit* e a base de dados do *Excel* para troca de informação dos Planos de Manutenção Preventiva. A metodologia desenvolvida e aplicada a um caso de estudo, consistiu na modelação do caso de estudo em *Revit*, com a introdução da informação paramétrica. De seguida, procedeu-se à aplicação da Tabela 13 da norma *Omniclass* para a classificação dos espaços de acordo com a sua utilização e à criação de um plano de manutenção para alguns elementos do caso de estudo. Por fim, desenvolveu-se uma rotina no *Dynamo* permitindo a interação entre o *Revit* e o *Excel* de forma bidirecional para troca de informação. Numa segunda fase utilizou-se um *add in* comercial e efetuou-se a comparação entre as duas ferramentas. Este trabalho possibilita evitar a perda ou fragmentação da informação, permitindo que a gestão seja feita de forma mais eficaz e eficiente, culminando numa redução de custos nas intervenções futuras.

1. Introdução

A manutenção do estado de conservação dos edifícios existentes, a redução do custo do ciclo de vida, a garantia da segurança e sustentabilidade no meio construído são fatores fortemente influenciados por uma gestão da manutenção eficiente [1]. Neste processo, quando os gestores dos ativos têm a oportunidade de optar por uma estratégia de manutenção preventiva, tendem a otimizar a gestão do tempo, dos recursos humanos e materiais [1][2].

Esta abordagem permite realizar um planeamento de ações de manutenção com base num prévio conhecimento da probabilidade de ocorrência de falhas, possibilitando uma atuação que

garanta que não há interrupções inesperadas na funcionalidade dos sistemas e equipamentos. Assim, surgem os planos de manutenção que contêm a descrição das ações de manutenção a realizar e as respetivas periodicidades de intervenção, com base na literatura ou nas recomendações dos fabricantes[3].

No entanto, vários desafios impostos ao sector da AECO têm exigido a sua evolução e a introdução de tecnologias e meios de digitalização para fazer face às exigências atuais. Os impactos ambientais causados, os desperdícios decorrentes da atividade e os recursos naturais consumidos pelo sector, geram desafios ao nível da sustentabilidade. Neste âmbito, as metas a atingir são cada vez mais exigentes, visto que um dos pilares do *European Green Deal* é a neutralidade climática até 2050, retardando o aquecimento global e atenuando os seus efeitos [4]. Tem ainda que ser considerado que as alterações climáticas aliadas ao envelhecimento dos materiais e sistemas construtivos provocam a aceleração da degradação dos edifícios, havendo necessidade de uma estratégia para a otimização da sua gestão da manutenção [2].

Por outro lado, os impactos consequentes da COVID-19 provocaram um aumento dos custos dos serviços de gestão dos edifícios e as crises sanitárias levaram à suspensão, adiamento e alteração de vários projetos devido ao risco de contaminação a que os trabalhadores estavam sujeitos [5] [6]. Aliada à crise pandémica, decorre a crise energética, em que os aumentos dos preços dos combustíveis fósseis e a escassez de recursos humanos e materiais, evidenciam as dificuldades associadas provocando a especulação dos custos associados ao sector da construção.

Para atenuar estas dificuldades e dada a multidisciplinaridade das tarefas de gestão da manutenção, o BIM, sendo uma metodologia de representação digital partilhada de um ativo para facilitar a conceção, construção e os processos operacionais, auxilia a tomada de decisões durante o seu ciclo de vida [7]. Permite a recolha, união e partilha de toda a informação do ativo durante toda a sua vida útil, através da integração de informação paramétrica nos objetos, possibilitando o conhecimento rigoroso das características e sistemas do edificado existente e a colaboração entre todos os intervenientes na gestão do ativo.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de uma metodologia de otimização da gestão da manutenção com suporte no BIM. Para este efeito, os planos de manutenção preventiva dos edifícios foram introduzidos no modelo paramétrico tridimensional desenvolvido no *software Revit* e de seguida foram comparados dois métodos que permitem a interoperabilidade entre o *Revit* e a base de dados do *Excel*. O primeiro foi a criação de uma rotina *Dynamo* para estabelecer o link bidirecional entre o *Revit* e o *Excel*. O segundo baseia-se na utilização do *Add-in SheetLink*, da *Dirrots* [8] para fazer esta sincronização.

O carácter inovador deste trabalho caracteriza-se por ser uma metodologia ampla que permite facilitar a tomada de decisão no âmbito da gestão da manutenção, reduzindo os custos associados, estendendo a vida útil dos materiais, evitando a degradação do edificado e garantindo a segurança dos utilizadores. Esta metodologia inclui a extração dos planos de manutenção do *Revit* e permite que estes sejam acessíveis a utilizadores e não utilizadores BIM, através da sincronização entre o *Revit* e o *Excel*, o que permite uma gestão da manutenção mais eficiente e organizada.

A relevância deste trabalho sublinha-se pela rapidez e facilidade no acesso a toda a informação de manutenção, bem como a facilidade de inserção de novos elementos durante a fase de utilização. A metodologia desenvolvida é apresentada no capítulo seguinte.

2. Metodologia

A metodologia de otimização da gestão da manutenção foi desenvolvida e aplicada a um caso de estudo já construído, de acordo com as seguintes etapas:

- Análise das plantas e da informação relativa ao caso de estudo.
- Modelação paramétrica do caso de estudo no software Revit.
- Desenvolvimento dos planos de manutenção preventiva para um conjunto de elementos construtivos.
- Desenvolvimento de uma rotina *Dynamo* para estabelecer a interoperabilidade entre *Revit-Dynamo-Excel* na utilização da metodologia BIM.
- Utilização do *Sheetlink* para estabelecer a interação bidirecional entre *Revit* e *Excel*.
- Conclusões e comparação entre as ferramentas de interoperabilidade.

2.1. Caso de estudo

A metodologia desenvolvida foi aplicada a um caso de estudo de forma a proceder à sua validação e garantir a sua futura implementação. O edifício em estudo é o departamento de Engenharia Civil localizado no Campus Universitário de Santiago, em Aveiro, inaugurado no ano letivo 2004/2005. Possui uma área construída de 1613 m^2 e é constituído por três pisos e uma cave. A fachada principal é orientada a Nordeste. O edifício é composto na sua maioria por estrutura metálica (vigas e pilares) à vista.

A cobertura do edifício é constituída por telhas *sandwich* de chapa metálica, onde assentam os sistemas mecânicos e de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC). O sistema de drenagem de águas pluviais é caracterizado por caleiras em chapa zincada de seção retangular e tubos de queda de PVC-U. Ao nível dos revestimentos interiores do edifício, no que concerne aos pavimentos são realizados em betão envernizado ao nível do Rés-do-chão, revestimentos de vinílico confetti nas salas de aula e, nos gabinetes dos docentes o revestimento é fundamentalmente em mosaico de cortiça. Os tetos são revestidos fundamentalmente por gesso cartonado pintado com tinta plástica e por lajes de betão à vista. As portas exteriores e as caixilharias dos vãos envidraçados são constituídas por perfis metálicos e os mecanismos de abertura das janelas são do tipo basculante. Na Figura 1 é possível observar o modelo tridimensional do departamento de engenharia civil realizado em *Revit*.

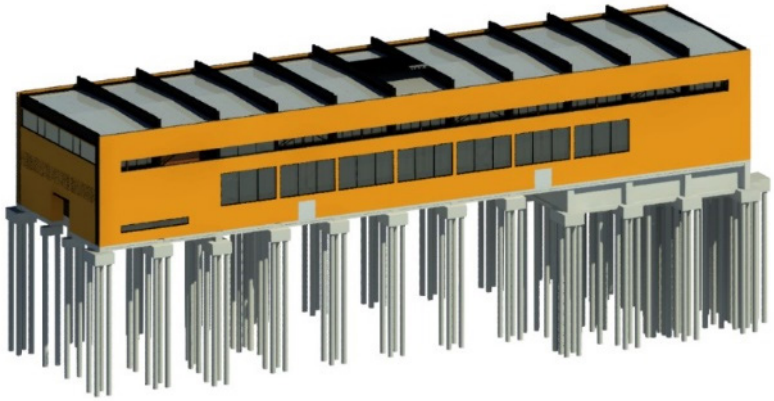


Figura 1
Modelo tridimensional em *Revit* do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

2.2. Modelação paramétrica do caso de estudo.

Procedeu-se à realização do modelo tridimensional do caso de estudo no software *Revit* (Figura 1), e a informação paramétrica foi atribuída às famílias de objetos através de parâmetros partilhados. Os parâmetros partilhados são parâmetros atribuídos às diferentes famílias de objetos do *Revit*, aos quais foram introduzidas informações acerca dos elementos construtivos e das suas atividades de manutenção. Neste caso, foram associadas também as classificações dos espaços de acordo com a Tabela 13 do sistema de classificação Omniclass. Esta associação é de extrema importância, visto que posteriormente as ações de manutenção podem ser atribuídas de acordo com a importância da utilização do espaço onde os elementos estão inseridos.

2.3. Desenvolvimento dos planos de manutenção preventiva

Os planos de manutenção preventiva incluem ações de manutenção a serem realizadas durante a vida útil do elemento e as suas respetivas periodicidades.

Neste artigo, é apresentado um exemplo de um plano de manutenção preventiva para os vãos envidraçados e a Figura 2 apresenta o formato dos planos de manutenção preventiva aplicados ao caso de estudo. Nas colunas apresentam-se os elementos fonte de manutenção, a designação do elemento, a sua localização, a ação de manutenção a ser aplicada, a data de intervenção, a periodicidade e o custo de intervenção.

Autor		Data		Revisão	
Edificio		Natureza			

EFM	Designação	Localização	Ação	Data da Última Intervenção	Periodicidade	Data da Próxima Intervenção	Custo

Figura 2
Planos de Manutenção Preventiva [9].

De seguida, a informação dos planos de manutenção foi associada a cada família de objetos através de parâmetros partilhados (Figura 3).

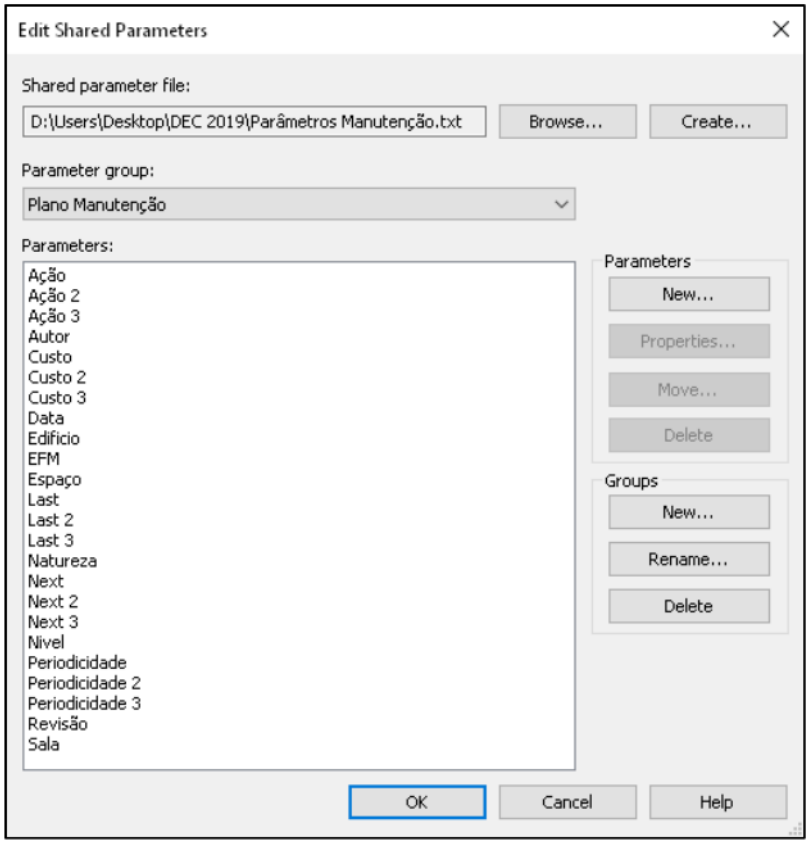


Figura 3
Parâmetros partilhados relativos às ações de Manutenção Preventiva associados ao modelo *Revit*.

2.4. Desenvolvimento da rotina *Dynamo*

A interoperabilidade entre os diversos *software*, confere a esta metodologia a característica colaborativa, sendo uma grande vantagem, visto que possibilita reunir

toda a informação numa plataforma unificada acessível aos diversos intervenientes. No entanto, a interoperabilidade entre os vários *softwares* é ainda um desafio. No caso da interoperabilidade entre o *Excel* e o *Revit*, foram aplicadas duas formas de estabelecer a interação bilateral de forma automática. Na versão do *Revit* 2019, a sincronização foi realizada através de rotinas de programação visual no *Dynamo*. O *Dynamo* é um *add-in* de programação visual que permite alargar as funcionalidades paramétricas do *Revit*, e gerar a documentação relativa às fases de operação e manutenção do edifício no seu formato final.

A Figura 4 apresenta parte da programação visual elaborada nas rotinas *Dynamo* BIM.

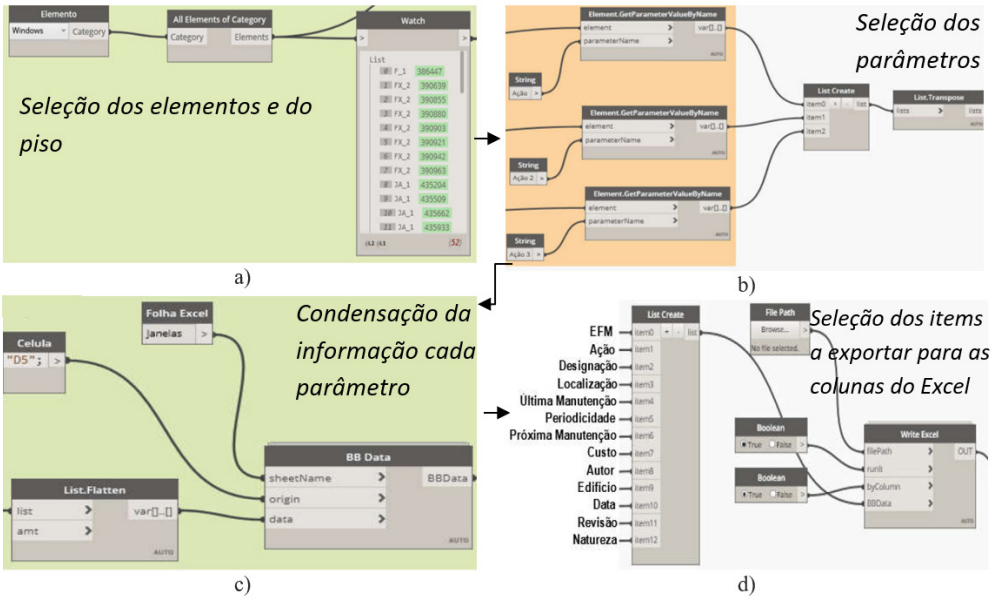


Figura 4
Parâmetros partilhados relativos às ações de Manutenção Preventiva associados ao modelo *Revit*.

Através das rotinas de programação visual é possível efetuar a exportação da informação do modelo *Revit* para *Excel* (Figura 5). A Figura 5 apresenta a tabela no ficheiro *Excel* exportada, com as intervenções já expiradas não efetuadas destacadas a vermelho. As intervenções que se encontram próximas da data de execução encontram-se destacadas a amarelo.

Autor	E. Tavares	**Data**	16/07/2021	**Revisão**	Rev.A
Edifício	DEC Universidade de Aveiro	**Natureza**	Estabelecimento de ensino		

EFM	Designação	Localização	Ação	Data última Intervenção	Periodicidade	Data Próxima Intervenção	Custo
Vão Envidraçado	JA_1.10	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	10/07/2020	12	09/07/2021	15,00 €
			Verificação e substituição dos vedantes.	10/07/2020	60	08/07/2025	85,00 €
			Lubrificação dos mecanismos de	10/07/2020	3	09/10/2021	12,00 €
Vão Envidraçado	FX_2.2	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	10/07/2020	12	09/07/2021	15,00 €
			Verificação e substituição dos vedantes.	10/07/2020	60	09/07/2025	80,00 €
			Limpeza.	10/07/2020	6	09/01/2021	12,00 €
Vão Envidraçado	FX_2.1	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	10/07/2021	12	09/07/2022	15,00 €
			Verificação e substituição dos vedantes.	10/07/2021	60	08/07/2026	80,00 €
			Limpeza.	10/07/2021	6	09/01/2022	12,00 €

Figura 5
Excerto do plano de manutenção exportado do *Revit* para o ficheiro *Excel*.

De forma a permitir a sincronização inversa, do *Excel* para o *Revit* foi necessária a criação de uma outra rotina que permite a importação da informação do *Excel* para o *Revit*, como apesentado na Figura 6.

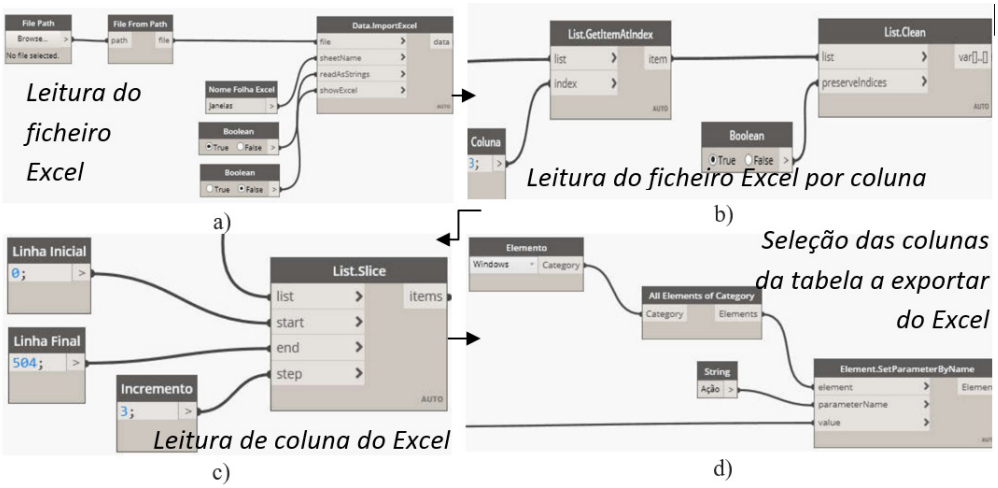


Figura 6
Parte da programação visual em *Dynamo* para importação de dados do *Excel* para o *Revit*.

Apesar do processo de programaçao em *Dynamo* ser um método eficaz, este necessita de ferramentas acessórias para concretização das rotinas. Além disso, a programação tende a ser extensa o que provoca uma maior probabilidade de acontecer erros e pressupõe a criação de tabelas no *Revit*.

Face a estas dificuldades, no próximo subcapítulo é apresentada a aplicação do add-in desenvolvido pela *Dirrots*, designado *SheetLink*, e que permite estabelecer a sincronização bilateral do *Revit* e *Excel* de forma automática e expedita.

2.5. Utilização do *Sheetlink* para estabelecer a interação bidirecional entre *Revit* e *Excel*

O *Sheetlink é um add-in* do *software Revit* desenvolvido pela *Diroots*, que possibilita a sincronização automática de dados entre o *Revit* e o ficheiro *Excel*. A interface do *Sheetlink* é intuitiva e de fácil utilização (Figura 7) e permite a exportação e importação de todos os parâmetros criados e alocados aos diferentes objetos *Revit*.

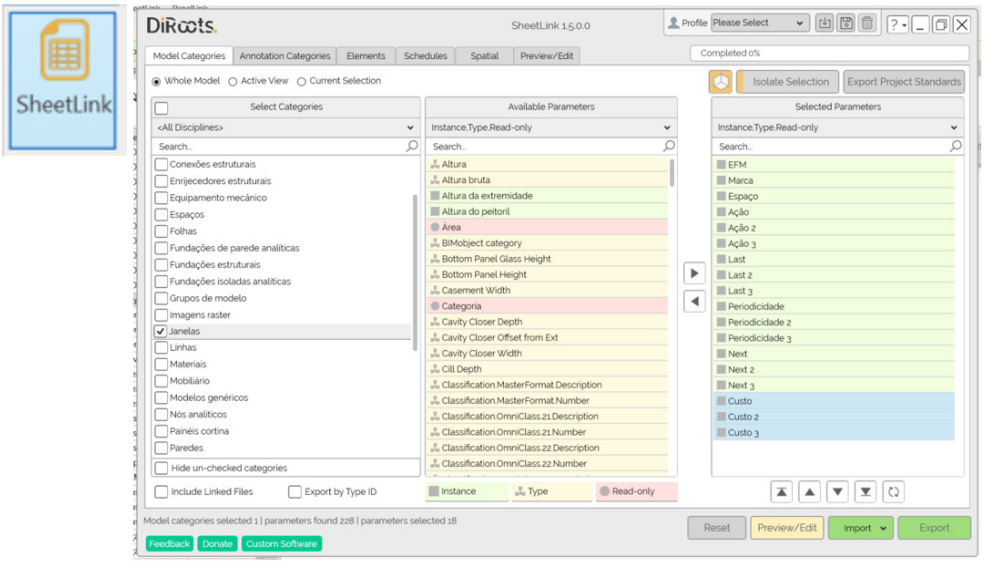


Figura 7
Interface do *SheetLink* e seleção dos parâmetros a extrair do *Revit*.

EFM	Marca	Espaço	Ação	Ação 2	Ação 3	Last	Last 2	Last 3	Periodicidade	Periodicidade 2	Periodicidade 3	Next	Next 2	Next 3	Custo	Custo 2	Custo 3
Vão Envidraçado	JA_1.10	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	Verificação e substituição dos vedantes.	Lubrificação dos mecanismos de abertura.	10/07/2020	10/07/2020	10/07/2020	12	60	3	09/07/2021	09/07/2025	09/10/2020	15,00 €	85,00 €	12,00 €
Vão Envidraçado	FX_2.2	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	Verificação e substituição dos vedantes.	Limpeza.	10/07/2020	10/07/2020	10/07/2020	12	60	6	09/07/2021	09/07/2025	09/01/2021	15,00 €	80,00 €	12,00 €
Vão Envidraçado	FX_2.1	Fachada NO	Inspeção visual: Permeabilidade à água e ao ar. Inspeção dos mecanismos de abertura.	Verificação e substituição dos vedantes.	Limpeza.	10/07/2021	10/07/2021	10/07/2021	12	60	6	09/07/2022	09/07/2026	09/01/2022	15,00 €	80,00 €	12,00 €

Figura 8
Resultado da exportação através do *SheetLink-Revit* para o ficheiro *Excel*.

A Figura 8 apresenta a tabela *Excel* que resultou da exportação do *Revit* através do *SheetLink*. Como é possível verificar a informação é extraída de forma organizada e as posteriores modificações efetuadas no ficheiro *Excel* podem ser novamente importadas para o *Revit* 2021.

Assim, a aplicação do *SheetLink*, torna possível a sincronização mais eficiente, rápida e sem necessidade de editar a informação da tabela após a sua exportação.

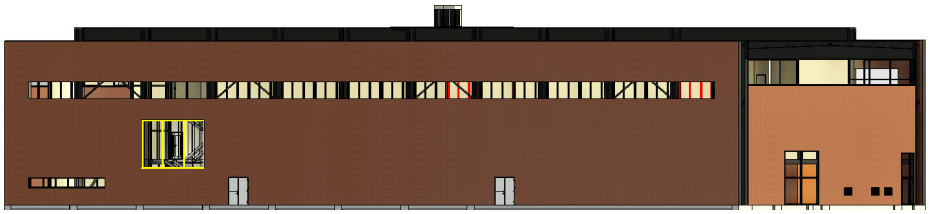


Figura 9
Aplicação do "*Color splasher*" ao Modelo 3D do *Revit*.

De forma a visualizar a informação acerca da manutenção mais graficamente, é possível empregar uma escala de cor de acordo com a variação do parâmetro escolhido. Para esse efeito, é usado o "*Color splasher* 21.0.0.0" [10]. Esta ferramenta é um *add-in* do *Revit* desenvolvido pelo *BIMOne* para visualização e verificação do modelo graficamente. Na Figura 9 é possível verificar quais os elementos com ações de manutenção caducadas (a vermelho) ou próximas da data de execução (a amarelo).

3. Conclusões

A definição de um plano de manutenção é uma tarefa essencial para uma gestão da manutenção eficiente e desta forma manter o nível de desempenho do edifício. Porém, o desenvolvimento, consulta e gestão de planos de manutenção preventiva com recurso a *software* ainda é um trabalho moroso e desafiante.

A metodologia BIM permite reunir toda a informação do ciclo de vida do edifício numa úncia plataforma, possibilita a atualização permanente da informação, diminui a fragmentação da informação e o consequente investimento na recolha dos dados. É uma metodologia colaborativa multidisciplinar na qual os diferentes intervenientes podem tirar partido da informação partilhada digitalmente através da interoperabilidade entre plataformas. Esta metodologia proporciona uma forma colaborativa de trabalho, permitindo uma melhor gestão do tempo, recursos humanos e materiais.

Assim, este trabalho apresenta uma metodologia de gestão da manutenção sustentada pelo BIM e as vantagens desta relação. Este trabalho apresentou a introdução dos diferentes parâmetros relacionados com os planos de manutenção nos diferentes objetos do modelo *Revit*. Depois, para uma gestão de informação mais eficiente e acessível para utilizadores e não utilizadores do BIM, a ligação bidirecional entre *Revit* e *Excel* é apresentada através da aplicação de dois métodos: 1 – Desenvolvimento de uma rotina *Dynamo*. 2- Utilização do *add-in* do *software Revit*, o *SheetLink*. A aplicação destes dois métodos torna possível estabelecer uma comparação. O primeiro método utilizou uma rotina *Dynamo*, que se verificou ser um trabalho moroso que resulta em grandes rotinas de programação, o que aumenta a probabilidade de erro. Requer também a criação de tabelas no *Revit* para posteriormente a informação ser exportada e, em alguns casos, a informação exportada necessita de ser editada. Este método depende da compatibilidade do pacote *Bumblebee*, *Dynamo* e das versões do *Revit*. Por outro lado, é um método mais personalizado que permite adicionar outros comandos. No segundo método utilizou-se o *SheetLink,* um *add-in* gratuito compatível com as versões do *Revit* a partir de 2018. Tem uma interface muito intuitiva que permite exportar e importar novos dados associados aos objetos BIM. Não há necessidade de fazer tabelas no *Revit* antes de extrair a informação e os dados extraídos são organizados, sem haver a necessidade de manipulação. Conclui-se que para a finalidade pretendida, o *add-in* torna o processo mais automatizado e expedito do que a rotina *Dynamo*. A metodologia BIM pode ter uma importância significativa no processo de gestão da manutenção, dado que permite reunir todos os dados do edifício ao longo da sua vida útil e associá-los a um modelo 3D paramétrico, de rápido desenvolvimento dadas as bibliotecas de objetos disponíveis, tornando-o mais completo. Além disso, as ferramentas que estabelecem a interação bidirecional entre o *software Revit*, *Dynamo* e *Excel* permitem a edição, exportação e importação de dados possibilitando a sua atualização permanente. Este trabalho mostra que os dados podem ser obtidos, manipulados e extraídos em *Revit* ou *Excel* através da atualização das rotinas ou do *add-in* para que a informação atualizada fique acessível nos dois

softwares e que durante o processo é possível adicionar parâmetros e proceder à sua exportação em qualquer momento da fase de utilização.

Esta metodologia foi desenvolvida para a gestão dos edifícios existentes, mas pode também ser aplicada à manutenção futura dos novos edifícios e é reprodutível em outras tipologias de edifícios, bem como, para equipamentos que requerem atividades de manutenção mais especificas e detalhadas. Assim, ao explorar as potencialidades do BIM durante a gestão da manutenção do edifício é possível prolongar a sua vida útil, adotar soluções construtivas mais sustentáveis e, consequentemente, reduzir os custos correspondentes à fase de utilização, bem como assegurar a segurança e o bem-estar dos utilizadores. Os futuros desenvolvimentos no âmbito deste trabalho consistem em gerir todos os dados de manutenção através das plataformas de *Business Intelligence*.

Referências

[1] E. I. Khalid, S. Abdullah, M. H. Hanafi, S. Y. Said, and M. S. Hasim, "The consideration of building maintenance at design stage in public buildings: The current scenario in Malaysia", *Facilities (2019)*, vol. 37, no. 13-14, pp. 942-960, 2019, doi: 10.1108/F-04-2018-0055.

[2] R. Matos, F. Rodrigues, H. Rodrigues, and A. Costa, "Building Condition Assessment supported by Building Information Modelling", *Journal of Building Engineering* (2021), vol. 33, no. Janeiro 2021, p. 101588, 2021, [Online]. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102186.

[3] R. Simões, A., Costa, A., Rodrigues, F., Varum, H., Matos, M., Vicentes, Simões, A., Costa, A, *Gestão e manutenção preventiva – Bairros de habitação social municipal* Departamento de Engenharia civil Da Universidade de Aveiro, 2015.

[4] Comissão Europeia, "European Green Deal- Commission proposed transformation of EU economy and society to meet climate ambitions". (2021) Disponível em https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541 2021.

[5] RICS – Royal Institution of Chartered Surveyors, "COVID-19 and its effect on facilities management", (2020), [Online]. Disponível em: https://www.rics.org/uk/products/data-products/insights/covid-19-and-its-effect-on-facilities-management/.

[6] M. Awada, B. Becerik-Gerber, S. Hoque, Z. O'Neill, G. Pedrielli, J. Wen, T. Wu "Ten questions concerning occupant health in buildings during normal operations and extreme events including the COVID-19 pandemic", *Building and Environment* (2021), vol. 188, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107480.

[7] BS EN ISO 19650-1:2018, "BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including

building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling", pp. 1-46, British Standard (BS), 2018.

[8] DiRoots, "Sheetlink – Excel Import/Export", disponível em https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=4089038677237188183, 2021.

[9] E. Tavares, "Gestão do Património Edificado com Recurso ao BIM", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2019.

[10] I. BIM One, "Virtual construction and technology BIM One Inc. – Color Splasher", 2019, [Online]. Available: https://apps.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=5056644120649615847&appLang=en&os=Win64.

Inteligência artificial aplicada à gestão do ambiente construído: Revisão de literatura

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.48

Rodrigo Pedral Sampaio[1,2], **António Aguiar Costa**[2,3], **Inês Flores-Colen**[2]

[1] *Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1 1049-001, Lisboa, Portugal*

[2] *CERIS, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1 1049-001, Lisboa, Portugal*

[3] *BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal*

Resumo

Durante a fase de Operação e Manutenção (O&M), as equipas de *Facility Management* (FM), gastam tempo recolhendo e processando dados de diversas origens, que muitas vezes não são devidamente considerados na tomada de decisões futuras. O *Building Information Modeling* (BIM) permite alavancar a forma como os dados e a informação são sistematizados, possibilitando a organização estruturada dessa informação e a sua utilização e tratamento otimizando os processos e a gestão do ambiente construído. Os modelos estatísticos mais elaborados, baseados em inteligência artificial (AI), são uma ferramenta para apoio ao FM e à tomada de decisão. Este artigo aborda o estado da arte sobre a utilização de técnicas de AI aplicados ao FM no contexto BIM, tendo sido analisados artigos do *Scopus* entre 2010 e 2020, relacionados com esta área. É interessante verificar que apenas a partir de 2018 é que se observa um aumento substancial do número dessas publicações, de cerca de 6 publicações (2010 a 2017) para 22 publicações (2018 a 2020) em média, anualmente. Este aumento resulta da crescente aplicação destes novos métodos de análise e otimização supracitados, que abrem novas oportunidades para abordar este problema de forma diferente sendo essencial para a função do *Facility Manager.*

1. Introdução

Facility Management (FM) ou gestão do ambiente construído é uma atividade que integra a gestão de pessoas, espaços, processos e tecnologia no âmbito do ambiente construído, no qual, o principal objetivo é o de garantir a sua adequada e otimizada funcionalidade. É conhecido que cerca de 85% do custo total do ciclo de vida dos empreendimentos são gastos nessas atividades num prazo médio em torno de 50 anos [1]. Também, ao longo do ciclo de vida de um edifício, a maior fração das despesas são incorridas durante a fase de Operação e Manutenção (O&M) e representam 50-70% dos custos operacionais anuais totais [2]. Nesse sentido, considerando estes custos significativos a ocorrer na fase operacional, surge uma necessidade cada vez maior de desenvolver práticas mais eficientes voltadas para a gestão do ambiente construído.

É importante assinalar que, neste contexto, a gestão e a integração dos processos e produtos ainda são realizados manualmente, o que o torna ainda mais complexo[3]. Durante a fase de manutenção e operação as equipas de FM gastam tempo recolhendo e processando dados de diversas origens, que muitas vezes não são devidamente considerados em decisões futuras. Acresce a isso a inacessibilidade de um histórico de dados, razão pela qual, os erros e ineficiências não são usados para uma melhoria contínua numa escala mais ampla dentro da indústria da construção [4]. Por este motivo, as atividades de operação e manutenção nem sempre são eficientes, o que resulta num vasto campo de pesquisas e melhorias.

Nesse contexto, a tecnologia e a gestão da informação têm se tornado peças fundamentais no processo de tomada de decisão e com isso desempenhado um papel cada vez mais importante no FM. Assim, o seu potencial para melhorar a produtividade e a eficiência é amplamente reconhecido [5]–[7]. Em particular, o *Building Information Modeling* (BIM) permite alavancar a forma como os dados e a informação são sistematizados, possibilitando a organização estruturada dessa informação e a sua utilização e tratamento, otimizando os processos e a gestão do ambiente construído, gerando valor, quer para os proprietários quer para as organizações que fazem a gestão desses ativos [8].

Entretanto, quando os dados no BIM aumentam para um determinado volume, métodos analíticos mais sofisticados são requisitados [9]. Essa ciência de dados, nomeadamente os modelos baseados em inteligência artificial (AI), que imitam a notável habilidade da mente humana de raciocinar e aprender em circunstâncias de incerteza e imprecisão são uma ferramenta para apoio a gestão desses dados, minimizando riscos e encontrando novas soluções, ampliando dessa forma a precisão no processo da tomada de decisão. Consequentemente, este método pode lidar com problemas complexos, que não podem ser descritos por modelos analíticos e exatos, como por exemplo os modelos físicos[10].

Assim, os *Facility Managers,* podem contar com os longos anos de experiência e acúmulo de informações para criar dados de partida para algoritmos de aprendizagens,

conciliar os reais componentes ao seu corresponde modelo 3D e ainda, aproveitar toda essa inteligência inserida ao sistema, para executar os planos de ação [11].

Este artigo aborda assim, o estado da arte sobre a utilização de técnicas de AI aplicados ao FM no contexto BIM, tendo sido analisados artigos do *Scopus* entre 2010 e 2020, respeitantes a esta área e, além desse capítulo de introdução (1), o artigo está dividido da seguinte forma: originalidade da investigação (2); metodologia de investigação (3); análise bibliométrica dos resultados e discussão (4); conclusão e trabalhos futuros (5).

2. Originalidade da Investigação

Entre 2010 e 2020 poucas revisões de literatura envolvendo BIM e FM foram publicadas. Volk *et al* [12], abordam a da implementação do BIM aplicada ao FM em edifícios existentes e revelaram uma carência na área de otimização e automatização de processos e ferramentas. Para Ilter, D. e Ergen, E. [13] um dos desafios para o futuro envolve o desenvolvimento de sistemas mais eficientes, através da identificação de ativos e da captura de dados usando tecnologias como, códigos de barras e identificador de radiofrequência (RFID). Santos *et al* [6], numa revisão de literatura pormenorizada, acreditam que o desenvolvimento de novas ferramentas, baseadas em modelos BIM, aplicadas ao FM tem grande potencial de crescimento. De igual maneira, Wong *et al* [14], recomendam estudos futuros com a utilização de técnica de inteligência artificial para melhorar a capacidade de reconhecer objetos em diferentes ambientes ou condições internas.

Nesse sentido, dado o elevado número de publicações, sobretudo nos últimos 3 anos, aliado aos desafios a serem ultrapassados já identificados e os que ainda estão por identificar, é necessário analisar qual o atual estado de conhecimento sobre a utilização de técnicas de inteligência artificial aplicada ao FM.

3. Metodologia de Investigação

Este estudo analisa e categoriza as pesquisas existentes sobre a utilização de técnicas de AI aplicados ao FM no contexto BIM durante a última década e até 2020 através da realização de um método quantitativo e qualitativo. A análise bibliométrica neste estudo visa fornecer uma análise quantitativa por meio de métodos estatísticos para analisar tendências de publicação e citação académica para avaliar o desempenho da pesquisa existente e compreender os padrões. A análise bibliométrica neste estudo consiste em seis etapas (Figura 1): (*i*) busca por palavras chaves na base de dados *Scopus*; (*ii*) seleção das revistas internacionais com o *citescore* (*citescore:* "é o número de citações recebidas por um artigo em um ano de documentos publicados nos três anos anteriores, dividido pelo número de documentos indexados no *Scopus* publicados nesses mesmos três anos") maior ou igual a 1.5; (*iii*) seleção de artigos citados pelo menos uma vez; (*iv*) aplicação de filtros apenas para incluir artigos

relacionados a utilização de técnicas de AI aplicadas ao FM no contexto BIM; e (*v*) categorização dos artigos com base nos conteúdos.

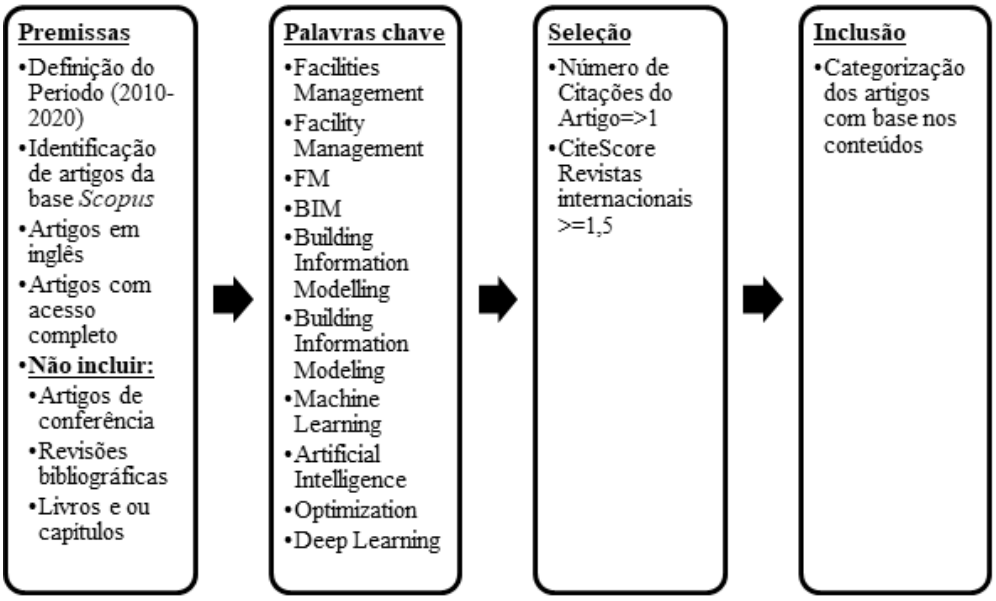


Figura 1
Diagrama de fluxo para seleção dos artigos.

Na primeira etapa da análise bibliométrica, realizou-se uma procura por palavras-chave na base de dados *Scopus* usando as palavras-chave: "*Facility management*"; "*Facilities management*"; "*FM*"; (4) "*BIM*"; "*Building Information Modelling*"; "*Building Information Modeling*"; "*Artificial Intelligence*"; "*Machine Learning (ML)*"; "*Optmization*", "*Deep Learnig*" o que resultou em 132 documentos no qual o tema havia correlações com as de técnicas de AI e ML aplicadas ao FM no contexto BIM.O passo seguinte foi fazer um filtro nos artigos que não tiveram: (*i*) num período de pelo menos 3 anos 1 citação, (*ii*) que a revista internacional em que o artigo foi publicado tinha um *cites-core* inferior ou igual a 1,5, (*iii*) que não tinha acesso aberto ao artigo completo, ou ainda, (*iv*) que após leitura completa do artigo o conteúdo desviava-se da temática principal, o que resultou finalmente num inventário com 101 documentos.

4. Análise bibliométrica dos resultados

A análise bibliométrica mostra que na última década houve um aumento de artigos publicados sobre a utilização de técnicas de AI aplicados ao FM de 1 (um) artigo em 2010 para 24 (vinte e quatro) artigos em 2020 (Figura 2). Também é interessante notar que 77,2% dos 101 artigos analisados foram publicados até entre 2016 e 2020, o que demonstra que os últimos cinco anos foram particularmente produtivos nessa temática. Este aumento resulta da crescente aplicação destes novos métodos de análise e otimização supracitados e, que, abrem novas oportunidades para abordar este problema de forma diferente, melhorando a qualidade das informações coletadas e também, do amadurecimento do BIM. A aplicação de ferramentas de AI permite

a otimização na gestão do ambiente construído, sendo essencial para a função do *Facility Manager*.

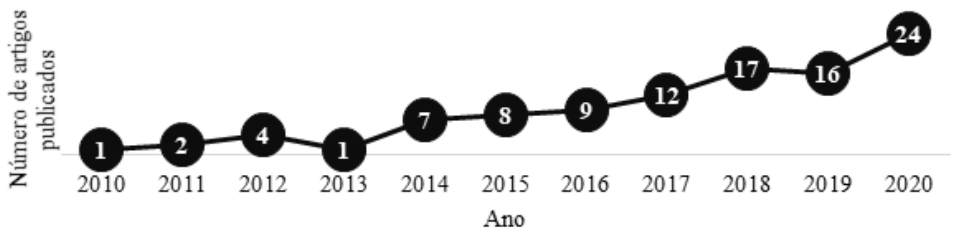


Figura 2
Número de artigos publicados por ano (2010-2020).

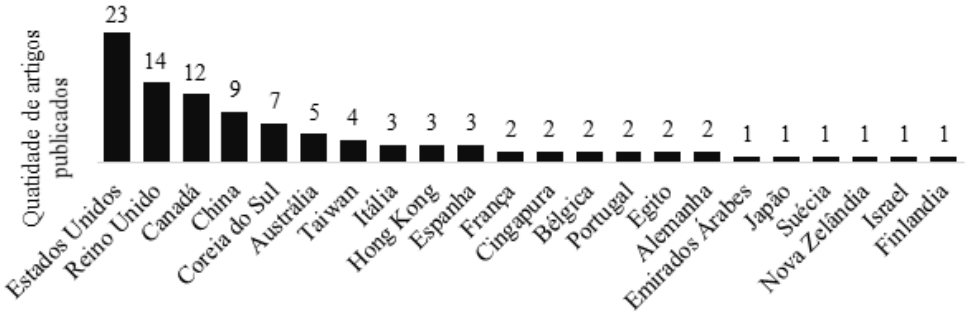


Figura 3
Número de artigos publicados na última década distribuída por países.

Nesse período os Estados Unidos lideraram o número de publicações (23), seguido do Reino Unido (14) e o Canadá (12), sendo, portanto, notório a influência desses países no tema em questão. Regista-se ainda que, Portugal aparece apenas com duas contribuições nesse mesmo período (Figura 3), o que denota um estado ainda incipiente no processo de utilização desses novos métodos mais inteligentes.

Durante o período em análise, e de acordo com os critérios de seleção, o *Automation and Construction Journal* publicou a maioria dos artigos na área (33), seguido pelo *Facilities* (7) e o *Computing in Civil Engineering* and *Advanced Engineering Informatics* (5) (Tabela 1).

Tabela 1
Artigos publicados na última década sobre AI aplicados ao FM no contexto BIM (Lista de revistas internacionais).

Revistas Internacionais	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Automation in Construction	0	0	3	0	1	3	1	3	6	6	10	**33**
Facilities	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	0	**7**
Journal of Computing in Civil Engineering	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	**5**
Advanced Engineering Informatics	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	**5**
Buildings	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1	**4**
Engineering, Construction and Architectural Management	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	**4**
Journal of Performance of Constructed Facilities	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	**3**
Visualization in Engineering	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	**3**
Applied Sciences	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	**3**
Construction Innovation	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	**2**
Advances in Engineering Software	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	**2**
Journal of Building Engineering	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	**2**
Computers in Industry	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	**2**
Journal of Construction Engineering and Management	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	**2**
Building Research and Information	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	**2**
Energy and Buildings	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	**2**
Building and Environment	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	**2**
Journal of Management in Engineering	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	**2**
Proceedings of the IEEE	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	**1**
Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	**1**
Applied Energy	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**1**
Engineering Failure Analysis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
Lecture Notes in Computer Science	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	**1**
Graphical Models	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**
Sustainable Cities and Society	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	**1**
Journal of Construction Engineering and Management	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**
KSCE Journal of Civil Engineering	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	**1**
International Journal of Automation and Computing	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	**1**
Journal of Information Technology in Construction	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
Tunnelling and Underground Space Technology	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**1**
Electronics	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	**1**
International Journal of Geographical Information Science	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**
Journal of Architectural Engineering	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	**1**
International Journal of Building Pathology and Adaptation	0	0	0	0	0	0	0		0	0	1	**1**
Total	**1**	**2**	**4**	**1**	**7**	**8**	**9**	**12**	**17**	**16**	**24**	**101**

Fundamentado na análise dos resultados, os temas que envolve a inteligência artificial aplicada à gestão do ambiente construído foram divididos em 5 pilares que sustentam todo o processo de gestão dos edifícios e que são melhores descritas na seção 5: (i) modelação da informação, (ii) aplicações e ferramentas (iii) manutenção, (iv) monitorização/inspeção, (v) transição digital,

4. Análise do conteúdo

Para identificar e fornecer uma análise mais aprofundada dos artigos identificados, os autores propuseram uma estrutura de categorização e subcategorização, que foi definida a partir da análise de vários domínios, com base no conteúdo de pesquisa. As Figuras 4 a 6 apresentam as divisões das subcategorias de cada um dos pilares apresentados.

A introdução da transição digital dentro da indústria do FM tem ocupado um papel cada vez mais importante. Esse tema foi encontrado em cerca de 8% dos artigos analisados, o menor número entre os pilares proposto, e as tendências apontam para a construção de edifícios com sensores sofisticados e sistemas informatizados inteligentes capazes de fornecer dados sobre o estado e desempenho de seus elementos em tempo real. Entretanto, ainda se constata um baixo nível de maturidade tecnológica das empresas do setor de FM, sinalizando uma lenta adoção dessas novas ferramentas e tecnologia de apoio à gestão da O&M. A informação de construção incompleta na entrega e a falta de ferramentas dedicadas à gestão de O&M são

motivos importantes para explicar o atraso no desenvolvimento de uma gestão do setor, de uma forma mais inteligente.

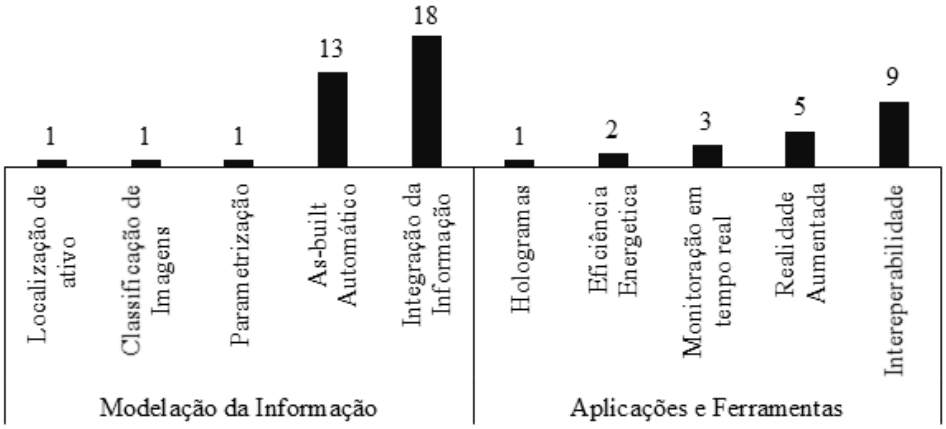


Figura 4
Subcategorias Modelação da Informação e Aplicações e Ferramentas.

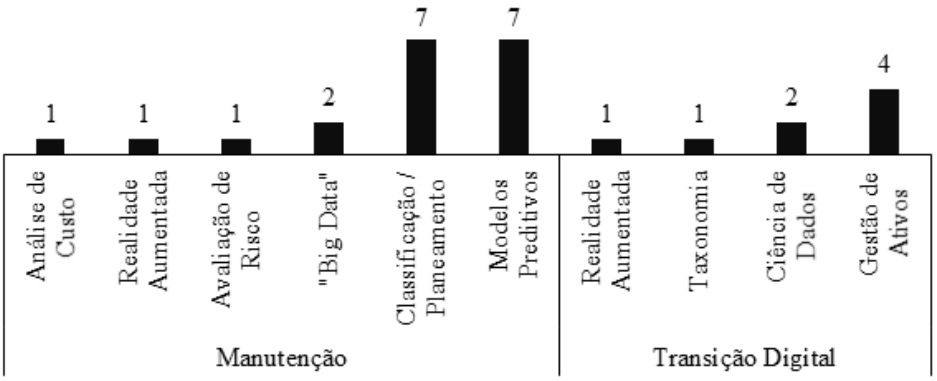


Figura 5
Subcategorias Manutenção e Transição Digital.

Por outro lado, a modelação da informação foi a categoria que apresentou o maior número de publicações com cerca de 34% dos artigos analisados. As subcategorias mais citadas dentro dessa categoria foram referentes à utilização de inteligência artificial para realização de *as-built* automáticos e para integrar informações. Modelos e desenhos *as-built* são documentos essenciais usados durante a O&M de edifícios para a gestão de espaços de instalações, equipamentos e sistemas de energia. Portanto, ter um modelo de informação conforme construído é fundamental para iniciar um processo de gestão e análise em um edifício. Entretanto, a preparação para o BIM no estado em que se encontra geralmente é um processo demorado, trabalhoso e caro. Na revisão realizada nota-se que soluções inteligentes e algoritmos de identificação estão sendo cada vez mais investigadas para melhorar a captura e a comunicação de informações essenciais para as O&M [15]–[17].

Monitoração e inspeção de ativos e desenvolvimento de aplicações e ferramentas aparecem com cerca 20% e 21% dos artigos analisados respetivamente, assumem também um papel fundamental na gestão da O&M, uma vez que são responsáveis por alimentar com informações o modelo, no decorrer da vida do ativo e desenvolver ferramentas que possam cada vez mais facilitar a gestão desses ativos. Os *facility*

manager necessariamente, precisam identificar padrões de causa e efeito de falha para preparar planos de manutenção. Esta tarefa é difícil por causa da interação complexa e interdependências entre os diferentes componentes do edifício e por isso o compartilhamento e a troca de informações entre diferentes aplicativos ao longo do ciclo de vida das instalações tornam-se cada vez mais necessários. Adicionalmente, as informações sobre as condições das instalações podem ser obtidos através da Internet das Coisas (IoT), como redes de sensores ou RFID [18]–[20].

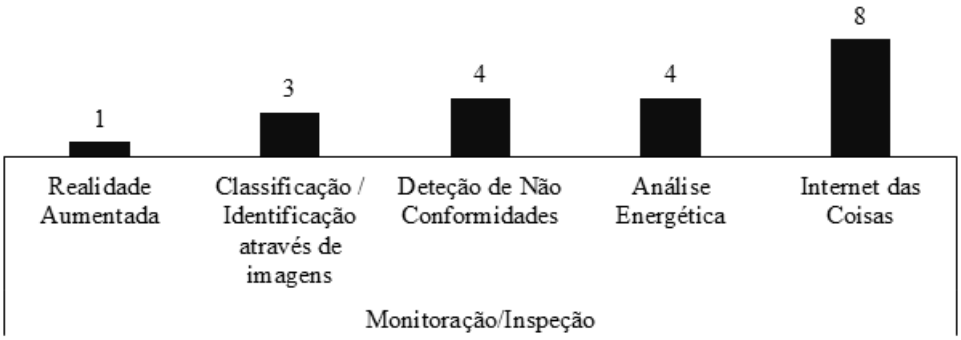


Figura 6
Subcategorias Monitoração e Inspeção.

Embora vários tipos de *software* existam no mercado para arquitetos e construtores para construir modelos BIM, a sua interoperabilidade é limitada. Por sua vez, diversas interfaces de programação de aplicação, que aparecem em 20% dos artigos analisados, estão sendo desenvolvidos atualmente com questões emergentes de interoperabilidade entre fontes de dados distintas. No entanto, a literatura existente sobre integração BIM-FM também aponta para as limitações específicas da integração de dados entre BIM e sistemas de FM, bem como a falta de metodologia padronizada para tal transferência de dados e com isso cresce cada vez mais a necessidade de criar ferramentas personalizadas [21], [22].

A manutenção é um tema fundamental para garantir a funcionalidade e a correta operação do edifício. Não obstante, a maioria dos sistemas existentes atuais não podem fornecer programação automática de um grande número de ordens de serviço de manutenção e, portanto, a revisão de literatura realizada aponta para a utilização de vários algoritmos de aprendizagem, incluindo redes neurais artificiais (ANN), SVM e cadeias de Markov, aplicados para prever a condição de cada um dos ativos que compõe o empreendimento. O conceito de AI surge como uma alternativa que pode ser utilizada em problemas estatísticos em que não existe uma expressão pré-definida relacionando as entradas com as saídas de forma que a operação de encaixe ajuste simultaneamente a relação entre as entradas e as saídas e o peso relativo de cada entrada[23].

5. Considerações finais

Esse artigo fornece uma visão geral da aplicação das técnicas de AI ao FM no contexto BIM. Ao todo foram estudados 101 artigos, publicados entre 2010 e 2020 e

foram devidamente classificados e analisados. Devido a limitação de espaço os temas foram abordados de forma global e transversal de forma a cobrir todos os assuntos atualmente investigados.

As tendências tecnológicas globais apontam para um compromisso dos responsáveis do setor de FM, na utilização de novas ferramentas tecnológicas, na adoção de novos processos e procedimentos e um claro foco na gestão eficiente, durante o ciclo de vida da construção e parece que esta indústria vive no momento, um explosivo crescimento devido à integração de novas tecnologias, conceitos e abordagens e, com ela, a necessidade de empresas e organizações aumentarem sua capacidade de adotar a tomada de decisão automatizada baseada em dados.

Os *facility managers* possuem grandes quantidades de dados que requerem tempo e muitos recursos. Além disso, a chave para programar quando as intervenções serão necessárias depende da capacidade de prever a condição futura do ativo e, na maioria dos casos, as inter-relações entre os vários componentes e sistemas de construção, a multiplicidade de componentes de construção e vários fatores ambientais variáveis são negligenciados. O desenvolvimento de novos métodos estatísticos, nomeadamente aqueles normalmente classificados como ferramentas de AI, abre novas oportunidades para abordar este problema de forma diferente e tem tentado ultrapassar as dificuldades acima mencionadas.

Em suma, AI está desencadeando desenvolvimentos em muitos campos, como ML, solução de problemas e planejamento, *as-built* automáticos, entre muitos outros. Assim, a AI pode ser usada para conectar dados de forma inteligente, onde a capacidade dos humanos de processar essas informações costuma ser limitada.

Referências

[1] E. Teicholz, "Bridging the AEC technology gap", *IFMA Facility Management Journal*, 2004.

[2] E.P. Rondeau, R. K. Brown, and P. D. Lapides, *Facility Management*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2012.

[3] A. K. Jallow, P. Demian, A. N. Baldwin, and C. Anumba, "An empirical study of the complexity of requirements management in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 21, no. 5, pp. 505-531, Sep. 2014, doi: 10.1108/ECAM-09-2013-0084.

[4] R. Lundkvist, J. H. Meiling, and M. Sandberg, "A proactive plan-do-check-act approach to defect management based on a Swedish construction project", *Construction Management and Economics*, vol. 32, no. 11, pp. 1051-1065, Nov. 2014, doi: 10.1080/01446193.2014.966733.

[5] R. Vieira, P. Carreira, P. Domingues, and A. A. Costa, "Supporting building automation systems in BIM/IFC: reviewing the existing information gap", *Engineering,*

Construction and Architectural Management, vol. 27, no. 6. Emerald Group Holdings Ltd., pp. 1357-1375, Jun. 22, 2020. doi: 10.1108/ECAM-07-2018-0294.

[6] R. Santos, A. A. Costa, and A. Grilo, "Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015", *Automation in Construction*, vol. 80. Elsevier B.V., pp. 118-136, Aug. 01, 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.03.005.

[7] A. A. Costa, P. M. Lopes, A. Antunes, I. Cabral, A. Grilo, and F. M. Rodrigues, "3I Buildings: Intelligent, Interactive and Immersive Buildings", in *Procedia Engineering*, 2015, vol. 123, pp. 7-14. doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.051.

[8] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li, and G. Calis, "Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, no. 3, pp. 431-442, Mar. 2012, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000433.

[9] Y. Peng, J. R. Lin, J. P. Zhang, and Z. Z. Hu, "A hybrid data mining approach on BIM-based building operation and maintenance", *Building and Environment*, vol. 126, pp. 483-495, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2017.09.030.

[10] E. v. Ana and W. Bauwens, "Modeling the structural deterioration of urban drainage pipes: The state-of-the-art in statistical methods", *Urban Water Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 47-59, Feb. 2010, doi: 10.1080/15730620903447597.

[11] T. Bloch and R. Sacks, "Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models," *Automation in Construction*, vol. 91, pp. 256–272, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.03.018.

[12] R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs", *Automation in Construction*, vol. 38. pp. 109-127, Mar. 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

[13] D. Ilter and E. Ergen, "BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions", *Structural Survey*, vol. 33, no. 3. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 228-256, Jul. 13, 2015. doi: 10.1108/SS-02-2015-0008.

[14] J. K. W. Wong, J. Ge, and S. X. He, "Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions", *Automation in Construction*, vol. 92. Elsevier B.V., pp. 312-326, Aug. 01, 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2018.04.006.

[15] C. Wang, Y. K. Cho, and C. Kim, "Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications", *Automation in Construction*, vol. 56, pp. 1-13, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.04.001.

[16] A. Bhatla, S. Y. Choe, O. Fierro, and F. Leite, "Evaluation of accuracy of as-built 3D modeling from photos taken by handheld digital cameras", *Automation in Construction*, vol. 28, pp. 116-127, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2012.06.003.

[17] L. Klein, N. Li, and B. Becerik-Gerber, "Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings", *Automation in Construction*, vol. 21, no. 1, pp. 161-171, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.05.023.

[18] J. C. P. Cheng, W. Chen, K. Chen, and Q. Wang, "Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms", *Automation in Construction*, vol. 112, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103087.

[19] M. Marzouk and A. Abdelaty, "Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling", *Energy and Buildings*, vol. 84, pp. 252-257, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.006.

[20] A. Motamedi, A. Hammad, and Y. Asen, "Knowledge-assisted BIM-based visual analytics for failure root cause detection in facilities management", *Automation in Construction*, vol. 43, pp. 73-83, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.03.012.

[21] E. A. Pärn and D. J. Edwards, "Conceptualising the FinDD API plug-in: A study of BIM-FM integration", *Automation in Construction*, vol. 80, pp. 11-21, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.03.015.

[22] T. W. Kang and C. H. Hong, "A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration", *Automation in Construction*, vol. 54, pp. 25-38, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.03.019.

[23] V. Sousa, J. P. Matos, and N. Matias, "Evaluation of artificial intelligence tool performance and uncertainty for predicting sewer structural condition", *Automation in Construction*, vol. 44, pp. 84-91, 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2014.04.004.

Digital Twins em redes ferroviárias e rodoviárias – Uma revisão sistemática da literatura

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.49

João Vieira[1,2], **Hugo Patrício**[2], **Nuno Almeida**[1], **João Morgado**[2], **João P. Martins**[3]

[1] *Universidade de Lisboa – Instituto Superior Técnico; ORCID 0000-0001-6309-329X (J.V.); ORCID 0000-0001-7024-2679 (N.A.)*

[2] *Infraestruturas de Portugal, Almada; ORCID 0000-0002-6519-7137 (H.P.); ORCID 0000-0002-5794-8236 (J.M.)*

[3] *CONSTRUCT-GEQUALTEC – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto; ORCID 0000-0001-9878-3792 (J.P.M.)*

Resumo

O conceito do *Digital Twin* (DT), embora não seja recente, tem recebido atenção crescente ao longo da última década, em particular no setor da Indústria. Esta tendência é acompanhada pelas tecnologias digitais, em particular da Indústria 4.0, que alcançaram avanços e aplicações significativos em organizações gestoras de ativos físicos. Os gestores de ativos destas organizações são confrontados com uma oportunidade de superar os desafios relacionados com a gestão de dados e de incrementar o valor gerado a partir dos ativos. Os sistemas e redes de infraestruturas ferroviárias e rodoviárias não são exceção e, pelo facto de prestarem um serviço essencial no transporte de pessoas e bens, existe um valor considerável por extrair através da digitalização e da inovação das atividades de gestão de ativos. Este estudo procura resumir o estado atual da aplicação do DT nas redes de infraestruturas ferroviárias e rodoviárias, como resultado da revisão sistemática da literatura segundo a metodologia PRISMA. Este artigo apresenta e analisa os principais resultados da revisão bibliográfica e fornece uma visão geral sobre o estado atual da investigação sobre DT no setor das redes ferroviária e rodoviária.

1. Introdução

Transformação digital nas redes ferroviária e rodoviária

As redes ferroviárias e rodoviárias constituem dois subsetores da rede global de transportes [1], abrangem um vasto leque de ativos (muitos são comuns a outros setores, como a energia e os edifícios) e requerem múltiplas áreas de especialização. Estas redes são responsáveis por mais de 63% do transporte de mercadorias e quase 90% do transporte de passageiros dentro da União Europeia [2]. Além de uma procura crescente, estas redes de transporte enfrentam outros desafios, como um considerável défice acumulado de investimento e o envelhecimento contínuo das infraestruturas [1,3–8].

A gestão destas infraestruturas críticas requer ferramentas que permitam avaliar e equilibrar o seu custo, risco e desempenho [9], com base em dados concretos que apoiem a tomada de decisão na gestão de ativos [5,10]. Nesse sentido, o setor das infraestruturas tem vindo a adotar tecnologias inovadoras, muitas já utilizadas e validadas noutros setores, como o dos edifícios [10]. Neste contexto, a Indústria 4.0 surgiu como uma nova revolução industrial [11], disponibilizando um conjunto de novas abordagens e ferramentas com vista ao aumento da eficiência dos processos industriais.

Digital Twin

Apesar de não ser um conceito recente, o *Digital Twin* (DT) constitui uma das abordagens estimuladas pela Indústria 4.0 e que tem atraído interesse crescente por parte da indústria e da comunidade científica [12–16]. A experiência de aplicação do DT vem principalmente da indústria e do setor aeroespacial [17–21], com poucos exemplos de aplicação nas infraestruturas [19,21]. Apesar de a origem do conceito do DT estar bem documentada e ter um consenso generalizado na literatura, o mesmo parece não ocorrer com a sua definição [15,22–24]. Como vários autores discutiram, o DT tem sido interpretado de várias formas, dependendo de cada autor e até do setor em que é estudado [25–27].

Enquanto alguns autores defendem que uma representação digital de um ativo ou de um sistema de ativos é suficiente para constituir um DT [5,28–31], outros defendem que um DT é muito mais do que uma representação digital [16,32–37]. Enquanto alguns autores afirmam que o DT é uma tecnologia [4,18,36–40], outros afirmam que é uma abordagem ou um processo, em vez de um produto ou uma tecnologia [15,41]. Enquanto alguns autores utilizam indistintamente os termos "BIM" e "DT" [39,42], para outros estes são dois termos distintos [15,24,43,44].

Para clarificar as diferenças entre aplicações de DT, alguns autores propuseram classificações para o DT. Segundo a classificação de [25] – uma das mais populares – existem três tipos de DT – "*digital model*", "*digital shadow*" e "*digital twin*" – dependendo

do nível de automação da transferência de dados entre os ativos físico e virtual. Ainda assim, não só o "*digital twin"* é classificado como um tipo de DT, o que já potencia equívocos, mas também aumenta a dispersão de vocabulário em torno do conceito do DT. Os termos "*digital model*" e "*digital shadow*", por exemplo, são usados simultaneamente para tipos [25] e componentes do DT [11]. Numa revisão da literatura sobre o DT, Liu et al. [22] reportaram que mais de metade dos artigos incidiam sobre "*digital models"* ou "*digital shadows"*, embora os seus autores afirmassem ter estudado DTs. Alguns autores também reportaram que aplicações de DTs "verdadeiros" são raras [15] e que, portanto, a revisão sistemática sobre DT é complexa [22].

Adicionalmente, os vendedores e fornecedores de software também contribuem para os equívocos existentes em torno do DT, ao vender DTs como produtos e tecnologias [34]. Face a este cenário, alguns autores [15,16] concluem que o DT é atualmente uma "palavra da moda".

2. Metodologia

2.1. Definição do DT em redes ferroviária e rodoviária

Face às circunstâncias anteriormente apresentadas, o primeiro desafio deste estudo consiste em filtrar os estudos relevantes sobre o DT nas redes ferroviárias e rodoviárias. Os autores consideram que uma proposta para a definição do DT é benéfica para estabelecer um critério de elegibilidade, permitindo conduzir a revisão da literatura e filtrar os artigos revelantes.

Assim, um DT para as redes ferroviária e rodoviária é considerado como uma representação digital de um ativo ou sistema de ativos físicos e o seu contexto operacional, integrando uma conexão de dados em tempo-real com o ativo/sistema físico e outras ferramentas e fontes (tais como modelos físicos, análise de dados, capacidades de simulação e previsão), usados para gerar perceções alinhadas com o propósito pré-definido e, em última análise, apoiar os processos de tomada de decisão na gestão de ativos físicos.

2.2. Protocolo de revisão da literatura

A revisão da literatura seguiu a estrutura da metodologia PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) [46]. A revisão sistemática inicia-se com uma fase de identificação, seguida da triagem, elegibilidade e seleção final dos artigos a serem incluídos na análise de conteúdo. Este processo encontra-se ilustrado na Figura 1.

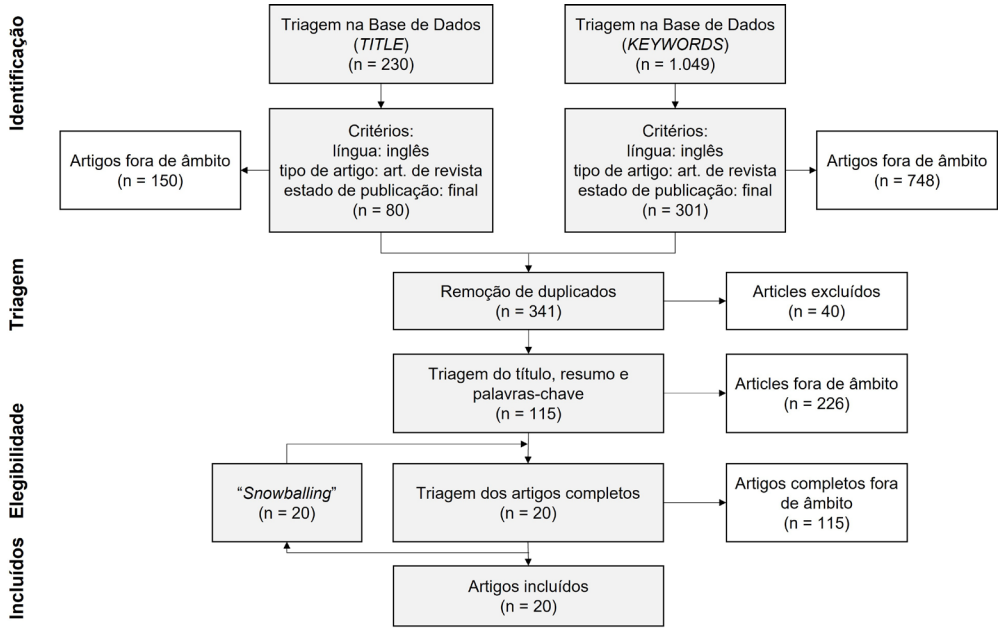


Figura 1
Fluxograma da metodologia PRISMA (adaptado de [46]).

2.3. Critérios de elegibilidade e pesquisa

Foram definidos 3 critérios de elegibilidade para os artigos a incluir na pesquisa: língua de publicação em inglês; artigos só de revista; e artigos em estado final de publicação. Esta opção foi tomada de modo a abranger a maioria das publicações candidatas à revisão e garantir um maior nível de qualidade dos artigos selecionados.

Os dados utilizados para a pesquisa provêm da base de dados "Scopus". A cadeia de palavras-chave utilizada para a pesquisa no motor de busca é a seguinte:

"TITLE/KEY(("digital twin*" OR "as-is BIM" OR "virtual twin" OR "cyber*physical system*" OR "digital representation" OR "virtual representation" OR "digital counterpart" OR "digital replica") AND ("rail*" OR "road*" OR "transport*" OR "asset management" OR "infrastructure" OR "track" OR "drainage" OR "culvert" OR "platform" OR "bridge" OR "tunnel" OR "overpass" OR "underpass" OR "retaining wall" OR "level crossing" OR "superstructure" OR "switches and crossings" OR "turnout" OR "access way" OR "signalling" OR "telecommunication" OR "electrical plant" OR "electric power" OR "*station" OR "catenary" OR "pavement" OR "highway" OR "traffic sign" OR "lighting" OR "toll" OR "building" OR "embankment" OR "escape ramp" OR "runaway*ramp" OR "automatic train protection") AND NOT ("manufactur*")) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE,"j")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE,"final")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English"))".

Além do termo "digital twin", foram também adicionadas outras palavras-chave que frequentemente aparecem em substituição do DT, tal como identificado por alguns autores [19,25,47–50]. Relativamente ao âmbito, os autores decidiram focar-se nos ativos físicos, construídos, duráveis e imóveis [51] relacionados com as redes ferroviária e rodoviária. Além disso, optou-se por excluir a palavra-chave "manufact*" pelo

facto de o setor industrial dominar a literatura sobre o DT. As limitações inseridas (ver "LIMIT-TO") traduzem os critérios de elegibilidade enunciados. A pesquisa pelo título e pelas palavras-chave gerou uma lista de 341 artigos, que exclui os artigos em duplicado (ver Figura 1).

2.4. Seleção dos estudos

Numa segunda fase de seleção, analisou-se o título, resumo e palavras-chave dos 341 artigos recolhidos da pesquisa, tendo sido excluídos os artigos fora do âmbito da ferrovia e rodovia, centrados na indústria ou sem resumo disponível. Foram rejeitados 226 artigos, principalmente por se encontrarem fora do âmbito definido e por se focarem no setor industrial. Os artigos dentro do âmbito foram classificados em função das infraestruturas abrangidas (Figura 2).

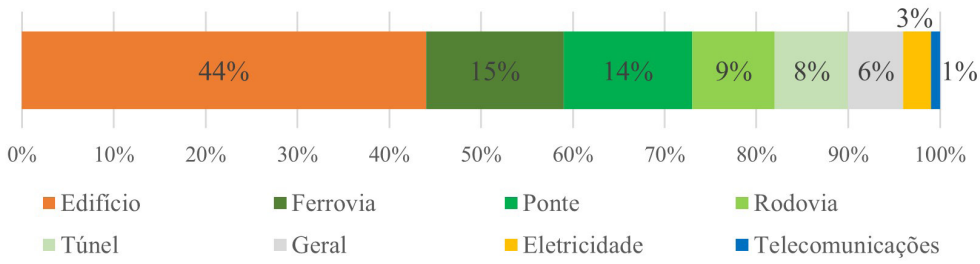


Figura 2
Artigos dentro do âmbito por tipo de infraestrutura.

Os resultados indicam que cerca 44% dos artigos classificados como dentro do âmbito se enquadram no setor dos edifícios, revelando que estas infraestruturas (residenciais, escolares, de escritórios, de comércio, etc.) dominam os estudos sobre o DT dentro do âmbito de pesquisa. Esta conclusão é validada por outras publicações, que indicam que o setor dos edifícios tem recebido atenção especial quando comparado com outras infraestruturas [10,24,39,45]. Apesar de os edifícios fazerem parte do portefólio de infraestruturas do setor ferroviário e rodoviário, os autores optaram por excluí-los da fase seguinte de revisão, por forma a focar-se nas restantes infraestruturas, que estão mais próximas do foco das redes ferroviária e rodoviária e para as quais menos atenção tem sido dada pela literatura científica.

Numa fase seguinte, os 115 artigos foram lidos na totalidade. Neste processo foram eliminados os artigos sem o respetivo documento disponível e os artigos centrados em abordagens fora do DT, ainda que os seus autores as descrevessem como tal. Este último tipo de artigos (com foco no BIM, extração de nuvens de pontos ou modelos de elementos finitos) teve uma representação significativa ao longo da revisão, o que não satisfaz a definição mais consensual do DT e valida as conclusões de outros estudos [15,19,22]. Foi ainda incluída uma fase de "*snowballing*", dedicada à revisão de artigos de revista relevantes e referenciados pelos anteriores.

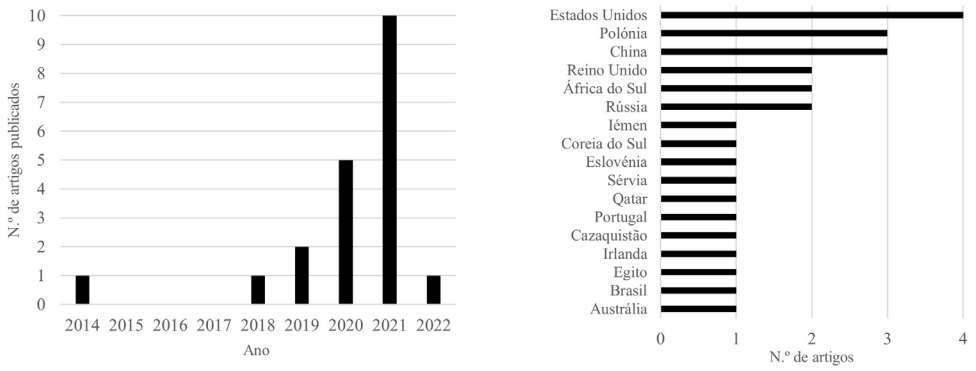
A lista final é formada por 20 artigos dentro do âmbito do estudo.

3. Resultados

3.1. Publicações por ano e nacionalidade

A análise dos 20 artigos selecionados indica que 95% dos artigos foram publicados nos últimos 4 anos e que o número de publicações anuais tem crescido continuamente, a pelo menos 100% ao ano (Figura 3a). Esta observação corrobora a ideia do DT enquanto uma tendência e com crescente interesse por parte da academia. Os resultados também mostram que não existe uma revista que domine o número de estudos sobre o DT em redes ferroviárias e rodoviárias.

Os artigos têm autoria de 17 diferentes nacionalidades, como mostra a Figura 3b. O número total de artigos por nacionalidade é de 27, uma vez que alguns artigos resultaram da colaboração entre autores de diferentes nacionalidades. Os resultados indicam que, embora os Estados Unidos da América seja a nação mais representada (com 4 dos 27 resultados), não existe um país predominante em termos do número de publicações sobre o DT neste âmbito.



(a) (b)

Figura 3
Número de artigos publicados por ano (a) e por nacionalidade (b).

3.2. Áreas temáticas

A Figura 4 apresenta a distribuição dos artigos pelas áreas temáticas sugeridas pelo motor de busca "Scopus". Mais uma vez, cada artigo pode abranger mais do que uma área temática, o que justifica que o número de resultados (45) seja superior ao número de artigos (20). O gráfico mostra que 46% dos resultados se relaciona com as áreas da Engenharia e das Ciências Computacionais, enquanto os restantes 54% se dispersam pelas restantes 12 áreas temáticas.

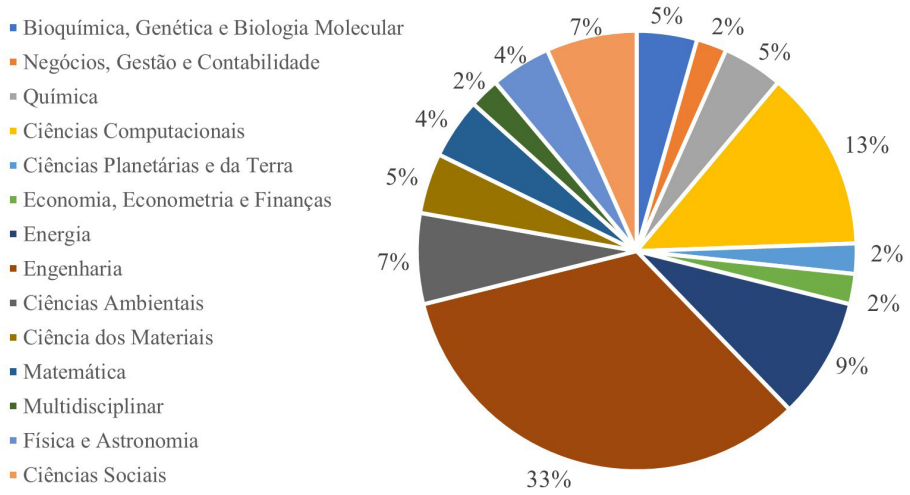
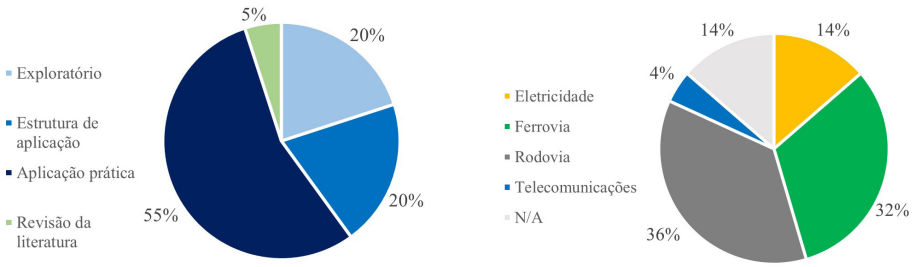


Figura 4
Resultados por área temática.

3.3. Tipos de artigo e redes de infraestruturas

A Figura 5 apresenta os tipos de artigo e redes de infraestruturas abrangidos pelos 20 artigos selecionados. 55% dos artigos consistem em aplicações práticas do DT (11) e 25% dos artigos são de caráter exploratório (4) ou são revisões da literatura (1). Como esperado, a maioria dos resultados (68%) concentra-se especificamente nas redes ferroviária e rodoviária (15). Estas duas redes encontram-se representadas por quase o mesmo número de resultados (7 e 8, respetivamente), o que exclui a predominância de uma rede neste âmbito de pesquisa. 28% dos resultados (4) relacionam-se com os setores da energia e das telecomunicações, o que é justificado pela variedade de disciplinas e setores de atividade envolvidos na gestão de infraestruturas ferroviárias e rodoviárias, como introduzido no capítulo 1. É importante também salientar que 14% dos resultados (3) não possuem um setor ou rede especificamente atribuídos. Estes artigos possuem normalmente um caráter genérico e exploratório sobre o DT ou mencionam muito brevemente as redes ferroviárias e rodoviárias.



(a) (b)

Figura 5
Resultados por tipo de artigo (a) e rede (b).

3.4. Atividades do ciclo de vida da gestão de ativos

De acordo com [52], existem 11 temas que constituem as atividades do ciclo de vida da gestão de ativos, incluídos na denominada *Asset Management Landscape*. A Figura 6 apresenta o número de resultados a partir dos 15 artigos classificados como "Estrutura de Aplicação" ou "Aplicação Prática", por cada uma das 11 atividades do ciclo de vida.

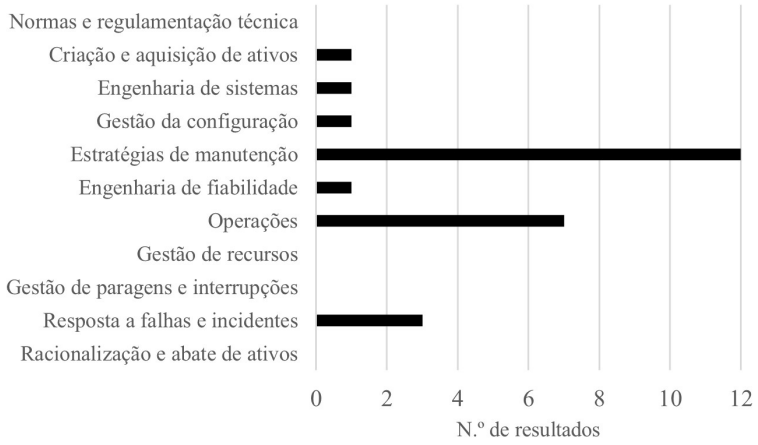


Figura 6
Resultados por atividades do ciclo de vida da gestão de ativos.

Os resultados indicam que existe uma clara predominância das atividades de operação e manutenção nos artigos selecionados. Dos 14 artigos elegíveis, existem 19 referências a impactos nas atividades de manutenção ou de operação (73% do total). Existem também 3 artigos que discutem impactos na resposta a falhas ou incidentes (12%). A primeira e a última fases do ciclo de vida (aquisição e alienação) apresentam poucas referências, o que contrasta fortemente com as fases de operação e manutenção. Esta conclusão corrobora os resultados apresentados por outros autores [12,15,19,26,53–55] e a ideia de que um DT, pela sua definição, gera valor principalmente durante as fases de operação e manutenção de ativos construídos.

4. Conclusões

Este artigo confirma a escassez de estudos publicados sobre o DT em redes de infraestruturas ferroviárias e rodoviárias, ainda que o seu potencial de aplicação neste setor seja evidente. Dado que as redes ferroviária e rodoviária providenciam um serviço crítico para a sociedade e enfrentam desafios constantes (aumento da procura, défice acumulado de investimento, dispersão territorial, grande variedade de classes de ativos, entre outros), a aplicação do DT poderia ajudar na resposta a alguns destes desafios através do aumento da qualidade e da eficiência da informação e, em última análise, da qualidade das decisões na gestão de ativos.

Os resultados da revisão bibliográfica mostram que a literatura sobre o DT nas redes ferroviária e rodoviária é recente e que tem aumentado nos últimos anos. Mostrou-se

também que a maior parte dos estudos enquadram-se nas áreas da engenharia e das ciências computacionais. Os artigos analisados abrangem diversas nacionalidades de autores e setores de atividade, como a ferrovia, a rodovia, o setor elétrico e as telecomunicações. Concluiu-se ainda que os contributos do DT são mais evidentes durante as fases de operação e manutenção, o que corrobora as conclusões de estudos anteriores sobre este tema.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC); Infraestruturas de Portugal, S.A. e pelo programa Shift2Rail JU/H2020, financiado pelo contrato n.º 01012456 (IN2TRACK-3).

Referências

[1] OECD. *Transport Bridging Divides*. OECD Urban Studies, OECD Publishing, Paris, 2020. doi: 10.1787/55ae1fd8-en

[2] EU. *Statistical Pocketbook 2020 – EU transport in figures*. European Union, 2020. doi: 10.2832/919583

[3] OECD. *OECD Regional Outlook 2019: Leveraging Megatrends for Cities and Rural Areas*. OECD Publishing, Paris, 2019, doi: 10.1787/9789264312838-en

[4] C. Shim, S. Dang, S. Lon, C. Jeon, "Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model", *Struct. Infrastruct. Eng.*, Vol. 15(10), pp. 1319-1332, 2019. doi: 10.1080/15732479.2019.1620789

[5] S. Ye, X. Lai, I. Bartoli, A.E. Aktan, "Technology for condition and performance evaluation of highway bridges", J. *Civ. Struct. Health Monit.*, Vol. 10, pp. 573 – 594, 2020. doi: 10.1007/s13349-020-00403-6

[6] ARTBA. *Bridge Conditions Report*. American Road & Transportation Builders Association, 2020.

[7] CIRC. *Monitoring the State of Canada's Core Public Infrastructure: The Canadian Infrastructure Report Card*, 2019.

[8] S. Kaewunruen, J. Sresakoolchai, W. Ma, O. Phil-Ebosie, "Digital Twin Aided Vulnerability Assessment and Risk-Based Maintenance Planning of Bridge Infrastructures Exposed to Extreme Conditions", Sustainability, Vol. 13(4), 2051, 2021. doi: 10.3390/su13042051

[9] ISO 55000, "ISO 55000:2014 - Asset management – Overview, principles and terminology", International Organization for Standardization (ISO), 2014.

[10] Costin, A.; Adibfar, A.; Hu, H.; Chen, S. Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. Autom. Constr. 2018, Vol. 94, pp. 257-281. doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.001

[11] A. Saad, S. Faddel, O. Mohammed, "IoT-Based Digital Twin for Energy Cyber--Physical Systems: Design and Implementation", *Energies*, Vol. 13(18), 4762, 2020. doi: 10.3390/en13184762

[12] D. Jones, C. Snider, A. Nassehi, J. Yon, B. Hicks, "Characterising the Digital Twin: A systematic literature review", *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, Vol. 29, Part A, pp. 36--52, 2020. doi: 10.1016/j.cirpj.2020.02.002

[13] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, A.Y.C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the--Art", *IEEE Trans. Industr. Inform.*, Vol. 15(4), pp. 2405-2415, 2019. doi: 10.1109/TII.2018.2873186

[14] K.Y.H.bLim, P. Zheng, C.-H. Chen, "A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives", *J. Intell. Manuf.*, Vol. 31, pp. 1313-1337, 2020. doi: 10.1007/s10845-019-01512-w

[15] M. Callcut, J.-P. Cerceau Agliozzo, L. Varga, L. McMillan, "Digital Twins in Civil Infrastructure Systems", *Sustainability*, Vol. 13(20), 11549, 2021. doi: 10.3390/su132011549

[16] J.C. Camposano, K. Smolander, T. Ruippo, "Seven Metaphors to Understand Digital Twins of Built Assets", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 27167-27181, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3058009

[17] A.R. Al-Ali, R. Gupta, T. Zaman Batool, T. Landolsi, F. Aloul, A. Al Nabulsi, "Digital Twin Conceptual Model within the Context of Internet of Things", *Future Internet*, Vol. 12(10), 163, 2020. doi: 10.3390/fi12100163

[18] Z. Liu, G. Shi, A. Zhang, C. Huang, "Intelligent Tensioning Method for Prestressed Cables Based on Digital Twins and Artificial Intelligence", *Sensors*, Vol. 20(24), 7006, 2020. doi: 10.3390/s20247006

[18] K. Lamb, "Principle-based digital twins: a scoping review", Centre for Digital Built Britain, 2019. doi: 10.17863/CAM.47094

[20] F. Jiang, Y. Ding, Y. Song, F. Geng, Z. Wang, "An architecture of lifecycle fatigue management of steel bridges driven by Digital Twin", *Struct. Monit. Maint.*, Vol. 8(2), pp. 187-201, 2021. doi: 10.12989/smm.2021.8.2.187

[21] D. Broo, J. Schooling, "A Framework for Using Data as an Engineering Tool for Sustainable Cyber-Physical Systems", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 22876-22882, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3055652

[22] M. Liu, S. Fang, H. Dong, C. Xu, "Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications", *J. Manuf. Syst.*, Vol. 58, Part B, pp. 346-361, 2021 doi: 10.1016/j.jmsy.2020.06.017

[23] A. Kochan, "Digital Twin Concept of the ECTS application", *J. Transp. Eng.*, Vol. 131, pp. 87-98, 2020. doi: 10.5604/01.3001.0014.8199

[24] L. Chen, X. Xie, Q. Lu, A.K. Parlikad, M. Pitt, J. Yang, "Gemini Principles-Based Digital Twin Maturity Model for Asset Management", *Sustainability*, Vol. 13(15), 8224, 2021. doi: 10.3390/su13158224

[25] W. Kritzinger, M. Karner, G. Traar, J. Henjes, W. Sihn, "Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51(11), pp. 1016-1022, 2018. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.474

[26] M. Macchi, I. Roda, E. Negri, L. Fumagalli, "Exploring the role of Digital Twin for Asset Lifecycle Management", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51(11), pp. 790-795, 2018. doi: 10.1016/j.ifacol.2018.08.415

[27] E. Negri, L. Fumagalli, M. Macchi, "A Review of the Roles of Digital Twin in CPS--based Production Systems", *Procedia Manuf.*, Vol. 11, pp. 939-948, 2017. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.198

[28] T. Machl, A. Donaubauer, T.H. Kolbe, "Planning Agricultural Core Road Networks based on a Digital Twin of the Cultivated Landscape", *J. Digit. Landsc. Archit.*, Vol. 4-2019, pp. 316-327, 2019. doi: 10.14627/537663034

[29] M. Mohammadi, M. Rashidi, V. Mousavi, A. Karami, Y. Yu, B. Samali, "Quality Evaluation of Digital Twins Generated Based on UAV Photogrammetry and TLS: Bridge Case Study", *Remote Sens.*, Vol. 13(17), 3499, 2021. doi: 10.3390/rs13173499

[30] M.V. Shevlyugin, A.A. Korolev, A.O. Korolev, I.A. Aleksandrov, "A Digital Model of a Traction Substation with Two Types of Current", *Russ. Electr. Eng.*, Vol. 89, pp. 540–545, 2018. doi: 10.3103/S1068371218090134

[31] M. F. Ariyachandra, I. Brilakis, "Detection of Railway Masts in Air-Borne LiDAR Data", *J. Constr. Eng. Manag.* Vol. 146(9), 2020. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001894

[32] M. Shafto, M. Conroy, R. Doyle, E. Glaessgen, C. Kemp, J. LeMoigne, L. Wang, *Technology Area 11: Modeling, Simulation, Information Technology and Processing Roadmap*. NASA Office of Chief Technologist, Washington, U.S.A., 2010.

[33] A. Kampczyk, K. Dybeł, "The Fundamental Approach of the Digital Twin Application in Railway Turnouts with Innovative Monitoring of Weather Conditions", *Sensors*, Vol. 21(17), 5757, 2021. doi: 10.3390/s21175757

[34] R. Lu, I.K. Brilakis, "Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters", *Autom. Constr.*, Vol. 105, 102837, 2019. doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102837

[35] C.E.B. López, "Real-time event-based platform for the development of digital twin applications", *J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 116, pp. 835-845, 2021. doi: 10.1007/s00170-021-07490-9

[36] G. Yu, S. Zhang, M. Hu, Y. Wang, "Prediction of Highway Tunnel Pavement Performance Based on Digital Twin and Multiple Time Series Stacking", *Adv. Civ. Eng.*, pp. 1-21, 2020. doi: 10.1155/2020/8824135

[37] O.E. Marai, T. Taleb, J. Song, "Roads Infrastructure Digital Twin: A Step Toward Smarter Cities Realization", *IEEE Netw.*, Vol. 35(2), pp. 136-143, 2021. doi: 10.1109/MNET.011.2000398

[38] R. Sahal, S.H. Alsamhi, K.N. Brown, D. O'Shea, C. McCarthy, M. Guizani, "Blockchain--Empowered Digital Twins Collab-oration: Smart Transportation Use Case", *Machines*, Vol. 9(9), 193, 2021. doi: 10.3390/machines9090193

[39] S. Kaewunruen, S. Peng, O. Phil-Ebosie, "Digital Twin Aided Sustainability and Vulnerability Audit for Subway Stations", *Sustainability*, Vol. 12(9), 7873, 2020. doi: 10.3390/su12197873

[40] G.B. Ozturk, "Digital Twin Research in the AECO-FM Industry", *J. Build. Eng.*, Vol. 40(11), 102730, 2021. doi: 10.1016/j.jobe.2021.102730

[41] B. Sousa, M. Arieiro, V. Pereira, J. Correia, N. Lourenço, T. Cruz, "ELEGANT: Security of Critical Infrastructures With Digital Twins", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 107574--107588, 2021. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3100708

[42] J. Heaton, A.K. Parlikad, J.M. Schooling, "Design and development of BIM models to support operations and maintenance", *Comput. Ind.*, Vol. 111, pp. 172-186, 2019. doi: 10.1016/J.COMPIND.2019.08.001

[43] G. Yu, Y. Wang, Z. Mao, M. Hu, V. Sugumaran, Y.K. Wang, "A digital twin-based decision analysis framework for operation and maintenance of tunnels", *Tunn. Undergr. Space Technol.*, Vol. 116, 104125, 2021. doi: 10.1016/j.tust.2021.104125

[44] C. Boje, A. Guerriero, S. Kubicki, Y. Rezgui, "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research", *Autom. Constr.*, Vol. 114, 103179, 2020. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103179

[45] S. Meža, A. Mauko Pranjić, R. Vezočnik, I. Osmokrović, S. Lenart, "Digital Twins and Road Construction Using Secondary Raw Materials", *J. Adv. Transp.*, pp. 1-12, 2021. doi: 10.1155/2021/8833058

[46] A. Liberati, D. Altman, J. Tetzlaff, C. Mulrow, P. Gøtzsche, J. Ioannidis, M. Clarke, P. Devereaux, J. Kleijnen, D. Moher, "The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: Explanation and elaboration", *BMJ*, 339:b2700, 2009. doi: 10.1136/bmj.b2700

[47] J. Vatn, *Industry 4.0 and real-time synchronization of operation and maintenance*. In Safety and Reliability – Safe Societies in a Changing World, 1st ed.; Haugen et al. (Eds); Publisher: Taylor & Francis Group, London, pp. 681-686, 2018.

[48] C. Zhuang, J. Liu, H. Xiong, "Digital twin-based smart production management and control framework for the complex product assembly shop-floor", *J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 96, pp. 1149-1163, 2018. doi: 10.1007/s00170-018-1617-6

[49] A. Fuller, Z. Fan, C. Day, C. Barlow, "Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research", *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 108952-108971, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2998358

[50] CDBB, *Digital Twin Toolkit - Developing the business case for your digital twin*. Centre for Digital Built Britain, 2021.

[51] J. Dieter, "Asset Management: Impact and Opportunity", XXI Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos – CIMGA 2019. Bogotá, 5th of April, 2019.

[52] GFMAM, *The Asset Management Landscape*. 2nd ed.. Publisher: The Global Forum on Maintenance and Asset Management, 2014. ISBN 978-0-9871799-2-0

[53] J. Kim, S.-A. Kim, "Lifespan Prediction Technique for Digital Twin-Based Noise Barrier Tunnels", *Sustainability*, Vol. 12(7), 2940, 2020. doi: 10.3390/su12072940

[54] J. Vieira, J. Clara, H. Patrício, N. Almeida, J.P. Martins, "Digital twins in asset management: potential application use cases in rail and road infrastructures", Springer, Proceedings of the 15th World Congress on Engineering Asset Management (in press).

[55] Q. Lu, A. K. Parlikad, P. Woodall, X. Xie, Z. Liang, E. Konstantinou, J. Heaton, J. Schooling, "Developing a dynamic digital twin at building and city levels: A case study of the West Cambridge campus", *J. Manag. Eng.*, Vol. 36(3), 2019. doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000763

Desenvolvimento de requisitos de informação para o facility management de uma cantina

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.50

Andressa Oliveira[1], **Taís Magalhães**[2], **Filipe Finco**[3], **José Granja**[4], **Miguel Azenha**[5]

[1] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212*

[2] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-0960-5076*

[3] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0001-5507-1437*

[4] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990*

[5] *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

A adoção do *Building Information Modelling* (BIM) para o *Facility Management* (FM) ajuda na comunicação e fluxo de uma vasta gama de dados requeridos pela disciplina, visto os benefícios que o BIM é capaz de trazer à gestão de informação. A atual falha em definir requisitos de informação orientados ao propósito implica na construção de modelos de informação ineficientes, o que traz a necessidade de desenvolver e aprimorar procedimentos que auxiliem na identificação de requisitos para o FM auxiliado por BIM. O presente trabalho destaca-se ao apresentar o desenvolvimento de Requisitos de Informação de Ativos (AIR) para a construção do modelo de informação de uma cantina, desenvolvido com base nas normas de gerenciamento de informação mais recentes (ISO 19650 e EN 17412-1). O desenvolvimento do AIR ocorreu com orientação ao propósito e a metodologia do Nível de Informação Necessário (*Level of Information Need*) foi aplicada para definir a extensão e granularidade dos requisitos de informação, definindo por fim um Requisito de Troca de Informação (EIR). O esquema IFC foi consultado para determinação das propriedades requeridas e para garantia de interoperabilidade. Os requisitos de informação desenvolvidos orientaram a criação do modelo da edificação e o ficheiro IFC exportado foi utilizado como fonte de informação primária em análises de FM simuladas em uma plataforma de inteligência empresarial.

1. Introdução

A prática interdisciplinar de gerenciamento de edifícios e instalações é conhecida como *Facility Management*. De acordo com a *International Facility Management Association* (IFMA) [1], o FM é responsável pela eficiência do ambiente construído, englobando a funcionalidade, o conforto e a segurança das instalações geridas. A indústria do FM passou por grandes mudanças e tem mostrado interesse crescente no uso de BIM para auxiliar suas atividades, visto os benefícios que o BIM traz para a gerenciamento da informação. Dentro da indústria AECO, a adoção do BIM nas fases de projeto e construção já está disseminada, resultando na criação de modelos que contém as informações necessárias para essas fases, mas não necessariamente abrangendo as necessidades da fase operacional [2]. Este fenômeno causa a entrega de grande quantidade de dados, mas a falta de informações úteis aos gestores [3]. No caso de edifícios em construção ou já existentes, mesmo se tratando de modelos de informação criados para apoiar a fase operacional de um ativo, existe ainda a incapacidade dos gestores em definir as informações necessárias às entregas BIM voltadas a FM, o que dificulta a implementação da metodologia neste setor [4]. Neste contexto, há a necessidade de desenvolver e aprimorar métodos que auxiliem na identificação de requisitos de informações operacionais para processos baseados em BIM, considerando a interoperabilidade necessária entre o software de modelação e os utilizados para as atividades de FM.

2. Metodologia

O presente artigo foi desenvolvido a partir de uma dissertação de mestrado [5] e inicia-se com uma revisão bibliográfica e uma análise do estado da arte quanto a implementação do BIM no *Facility Management*. Dentre as bibliografias revisadas estão inclusas a série de normas ISO 19650 [6]-[8] e a norma EN 171412-1 [9], as mais recentes neste contexto. Este trabalho apresenta a aplicação destas normalizações em um caso de estudo para guiar o desenvolvimento estratégico de um AIR para o FM de um edifício existente. Seguindo as diretrizes da série ISO 19650 o processo de desenvolvimento do AIR acontece sob responsabilidade do ator chamado de Entidade Requerente, que é definido como uma equipa que assume a responsabilidade de gerenciamento de informação no lugar do gestor da edificação em estudo. O EIR derivado é desenvolvido considerando apenas um *Trigger Event* referente a decisão de criação do modelo, o que gera apenas um Compromisso e um Marco de Entrega de Informação considerados simultâneos e equivalentes a Entrega do Modelo de Informação do Ativo (AIM) pelo Líder da Entidade Fornecedora ao gestor da edificação. Os requisitos de informação contêm o Nível de Informação Necessário estabelecido para cada ativo ou grupo de ativos a gerir e guiam a posterior elaboração do AIM com uso do software Revit. Posteriormente, o modelo é exportado em IFC e utilizado como fonte primária de informação para simulações de análises de FM em uma plataforma de inteligência empresarial (Power BI).

Este trabalho é parte do consórcio *Cognitive Computerized Maintenance Management System* (*Cognitive CMMS*), parceria entre a Valuekeep, o Centro de Computação Gráfica (CCG) da Universidade do Minho (UMinho), os Serviços de Acção Social da UMinho (SASUM) e outras entidades. Dentro deste consórcio, este trabalho se encaixa na criação dos requisitos de informação e no desenvolvimento do modelo de informação para o caso de estudo selecionado.

3. Definição dos requisitos BIM-FM para o estudo de caso

O desenvolvimento dos requisitos de informação para o caso de estudo é detalhado nas subseções seguintes seguindo as determinações da série ISO 19650 e da EN 17412-1.

3.1. Caso de estudo: cantina da Universidade do Minho

O edifício escolhido como caso de estudo foi a cantina da UMinho, localizada em Azurém, na cidade de Guimarães, Portugal. A administração do edifício é de responsabilidade dos SASUM, umas das Unidade de Serviço da UMinho. A edificação se desenvolve em três pisos principais (P-1, P0 e P1) e dois intermédios (M1 e M2). O piso inferior P-1 é dedicado a preparação e armazenagem de alimentos. No piso térreo (P1) estão localizadas a entrada e saída e principais, comportando duas rampas de distribuição de refeições com acesso ao público, e zonas de alimentação com acesso aos pisos intermédios de mesma função (M1 e M2). O piso superior P1 apresenta uma terceira zona de distribuição de refeições, bem como zona de alimentação.

3.2. Requisitos de Informação, Propósitos e Usos do modelo

O principal documento a partir do qual todos os outros requisitos de informação são gerados é o chamado Requisitos Organizacionais de Informação (OIR) [6]–[8], que refere a requerimentos de escala organizacional. Visto os SASUM não contarem com documento OIR formalizado, quatro requisitos de alto nível foram criados com base nos objetivos e missões da unidade de serviço, e considerando os edifícios geridos pelos SASUM: Manter as instalações e infraestrutura da universidade eficientes e preparadas para atender às necessidades dos ocupantes; garantir a segurança, conforto e saúde dos ocupantes dos edifícios; garantir o gerenciamento sustentável das edificações; e melhorar o gerenciamento financeiro.

A partir destes requisitos foram derivados requisitos a nível do ativo (AIR), os propósitos, e os usos para o modelo, tomando como base a lista de Usos BIM da BIMExcellence [10]. Tendo como exemplo um dos OIR definidos (Tabela 1), ao considerar que os SASUM têm como requisito organizacional de alto nível "manter as instalações e infraestrutura da universidade eficientes e preparadas para atender às necessidades dos ocupantes", os propósitos pretendidos para atingir este objetivo podem ser, entre outros, "manter os dados de instalações e equipamentos atualizados", bem como "ter uma fonte de informação confiável com rápido acesso às condições e requisitos dos

espaços". Estes dois propósitos permitirão a distribuição dos espaços de acordo com o uso pretendido e manter um registo dos ativos da cantina.

Tabela 1
Exemplo de relação OIR, AIR, propósitos e usos.

OIR	AIR	Propósitos	Usos
Manter as instalações e infraestrutura da universidade eficientes e preparadas para atender às necessidades dos ocupantes	Alocar adequadamente os espaços para os usos pretendidos	Ter uma fonte confiável e rápida para acessar as condições e requisitos do espaço	Gerenciamento de Espaços; Gerenciamento de Relocalização
	Manter um registro computadorizado preciso dos ativos dos edifícios	Manter dados de instalações e equipamentos atualizados, incluindo, mas não se limitando a cronogramas de manutenção, garantias, custos, atualizações, substituições, danos/ deterioração, registros de manutenção, dados do fabricante e funcionalidade do equipamento	Manutenção de Ativos
		Manter acesso rápido a operações, manuais de manutenção e especificações do equipamento	Manutenção de Ativos

A mesma lógica se repetiu para definição dos outros propósitos a partir de cada um dos quatro OIR, totalizando dez usos selecionados para o desenvolvimento dos requisitos de informação (Tabela 2). Destaca-se que a série ISO 19650 [6]–[8] e a EN 14412-1 [9] não utilizam o termo Usos BIM nas suas definições, entretanto utilizam largamente o termo propósito. Os dois termos têm alcances diferentes em sua definição. Propósito refere-se ao processo de gerenciamento da informação como um todo, enquanto o Uso BIM está ligado diretamente ao modelo. No contexto deste caso de estudo, os termos Usos e Propósitos são utilizados juntos (Propósito / Uso) ou separados, mas de forma intercambiável.

Tabela 2
Propósitos para o desenvolvimento dos requisitos de informação.

1	Comunicação Visual	**6**	Rastreamento de Ativos
2	Utilização Energética	**7**	Gerenciamento de Relocalização
3	Simulação de Realidade Virtual (VR)	**8**	Gerenciamento de Espaços
4	Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)	**9**	Utilização em Tempo Real
5	Manutenção de Ativos	**10**	Integração BIM / FM (BIMFMI)

3.3. Ativos a gerir, estrutura de desagregação e classificação

Inicialmente foi necessária a seleção dos ativos considerados relevantes aos propósitos, incluindo sua organização em uma estrutura de desagregação. A Tabela 3 abaixo traz a seleção final de ativos divididos em três grupos principais: Elementos Estruturais e Não Estruturais, Equipamentos e Espaços. O grupo Equipamentos apresenta dois subgrupos: Equipamentos de Monitorização e Equipamentos de Cozinha. Cada grupo ou subgrupo é composto por itens, e os itens de número 1.3 (Lajes) e 1.7 (Paredes) também são divididos em subitens.

Tabela 3
Estrutura de desagregação dos ativos a gerir e respetivas IFC *Entities*.

Nº	Objeto	IFC *Entity*	IFC *Predefined Type*
1	Elementos Estruturais e Não Estruturais		
1.1	Pilares	IfcColumn	COLUMN
1.2	Portas	IfcDoor	DOOR
1.3	Lajes		
1.3.1	Lajes	IfcSlab	FLOOR
1.3.2	Rampas	IfcRamp	USERDEFINED
1.4	Telhados	IfcRoof	BARREL_ROOF
1.5	Escadas	IfcStair	HALF_WINDING_STAIR
1.6	Paredes		
1.6.1	Paredes Não Estruturais	IfcWall	STANDARD
1.6.2	Paredes Estruturais	IfcWall	STANDARD
1.6.3	Paredes Cortina	IfcCurtainWall	USERDEFINED
1.7	Janelas	IfcWindow	WINDOW
2	Equipamentos		
2.1	Equipamentos de Monitorização		
2.1.1	Sensores	IfcSensor	USERDEFINED
2.1.2	Beacons	IfcSensor	USERDEFINED
2.2	Equipamentos de Cozinha		
2.2.1	Forno	IfcElectricAppliance	ELECTRICCOOKER
2.2.2	Fritadeira	IfcElectricAppliance	ELECTRICCOOKER
2.2.3	Câmara Frigorífica	IfcElectricAppliance	REFRIGERATOR
2.2.4	Grelhador	IfcElectricAppliance	ELECTRICCOOKER
2.2.5	Lava louças	IfcElectricAppliance	DISHWASHER
2.2.6	Abatedor de temperatura	IfcChiller	USERDEFINED
3	Zonas		
3.1	Espaços	IfcSpace	INTERNAL

Para o desenvolvimento dos requisitos, os subitens são analisados pelo seu item geral. A escolha dos ativos seguiu diferentes critérios. Considerando o grupo Elementos Estruturais e Não Estruturais, os elementos não estruturais são considerados relevantes para todos os cenários previstos, por constituírem os limites físicos do edifício. Os elementos estruturais foram incluídos por serem elementos que delimitam a edificação, mas também porque sua presença pode influenciar as atividades de manutenção a ocorrer. Estes elementos foram limitados àqueles da superestrutura pois, embora o bom estado das fundações seja fundamental para evitar patologias, sua manutenção não estava prevista no contexto do consórcio.

Os sensores e *beacons* foram adicionados à lista de ativos dentro do grupo Equipamentos, compondo o subgrupo Equipamentos de Monitorização, uma vez que as informações derivadas desses aparelhos são relevantes para os usos "Rastreamento de Ativos" e "Utilização em Tempo Real". Considerando os Equipamentos de Cozinha, optou-se por trabalhar com uma amostra de seis tipos de equipamentos dentro deste subgrupo. Como critério de triagem evitou-se escolher mais de um equipamento com funções semelhantes e, consequentemente, requisitos de informação semelhantes. Os móveis e equipamentos de apoio à cozinha não foram selecionados por não se tratar de ativos para o quais se previa ações de manutenção no escopo do projeto.

Por fim, os Espaços foram selecionados por serem relevantes a diversos propósitos, tais como "Gerenciamento de Relocalização" e "Gerenciamento de Espaços".

Tendo a lista de ativos definida, foi realizada associação entre eles e as IFC *Entities* consideradas adequadas. Esta associação não faz parte das responsabilidades da Entidade Requerente, entretanto foi utilizada como referência na definição das propriedades a requerer para cada ativo. Posteriormente, e seguindo as determinações de [6]–[8], os ativos foram classificados com um sistema de classificação, neste projeto escolhido como o Uniclass 2015.

3.4. Definição do Nível de Informação Necessário

Dentre os pré-requisitos que devem ser considerados na definição do Nível de Informação Necessário, além daqueles definidos como constantes para todo o projeto (Marco de Entrega de Informação e Atores), os Objetos e Propósitos irão variar. Os ativos e os Propósitos foram agrupados como e quando considerado coerente. A Tabela 4 equivale ao Nível de Informação Necessário definido para o grupo Equipamentos de Cozinha quando associado ao uso de "Manutenção de Ativos". A Tabela mencionada apresenta a forma e organização estabelecida como padrão para a apresentação do Nível de Informação Necessário dos ativos do projeto.

3.4.1. Informação Geométrica

Dos cinco aspetos a nível de informação geométrica, o Detalhe apresentou a maior variabilidade entre os ativos da cantina. Este foi definido como "Não Aplicável" para: os Equipamentos de Cozinha associados aos Usos de "Gerenciamento de Espaços" e "Rastreamento de Ativos", visto que, para gerenciar um espaço ou localizar equipamentos dentro da instalação, o detalhamento é desnecessário; e Espaços, onde o detalhe geométrico não é um aspeto aplicável.

Nos restantes Propósitos e ativos, os requisitos para o Detalhe têm grande variabilidade. Tomando como exemplo a "Manutenção dos Ativos" (Tabela 4), é requerido que os equipamentos apresentem uma forma geométrica simplificada, visto um alto detalhamento não ter influência ao uso pretendido. Além disto, é também necessária a definição da chamada *clearance zone*, que representa o espaço livre à volta do equipamento que se faz necessário às ações de manutenção a realizar. Para usos orientados à visualização ("Comu nicação Visual"), o aspeto Detalhe apresenta requisitos elevados, visto a necessidade de alta acuidade geométrica.

Tabela 4
Estrutura de desagregação dos ativos a gerir e respetivas IFC *Entities*.

Marco de entrega de informação:	Entrega
Propósito:	Manutenção de Ativos
Ativo:	Equipamentos
	Informação Geométrica
Detalhe	O objeto deve representar a forma simplificada e o volume real do elemento físico, sem fornecer qualquer detalhe adicional. É requisitada também a modelação da zona necessária à manutenção e operação do objeto (clearance zone).
Dimensionalidade	3D
Lacalização	Não Aplicável
Aparência	Aparência simbólica, com cor representativa uniforme.
Comportamento Paramétrico	Requisitado Totalmente
	Informação Alfanumérica
Identificação	Sensor Beacon Forno Fritadeira Câmara Frigorífica Grelhador Lava louças Abatedor de temperatura
Contéudo da Informação	O conteúdo da informação está definido separadamente
	Documentação
Conjunto de documentos	Não Aplicável

Considerando a Dimensionalidade, na maioria dos casos foi requisitada a representação tridimensional dos ativos, com exceção aos Equipamentos de Cozinha para o "Rastreamento de Ativos", onde apenas um ponto de localização (0D) foi solicitado. O aspeto Localização é considerado "Não Aplicável" para todo o projeto, visto não haver diferenciação quanto da forma em que a localização é exportada em IFC e sendo este o formato selecionado para a transmissão da informação no âmbito deste projeto. Considerando a Aparência, os requisitos variaram entre "Não Aplicável", "Simbólica" e "Realista". A aparência "Realista" foi solicitada para todos os ativos considerando o uso "Comunicação Visual", exceto o grupo Espaços, para o qual foi considerada irrelevante. A aparência simbólica foi solicitada em Usos com necessidade de visualização sem alta acuidade visual (Simulação de Realidade Virtual (VR)).

O aspeto Comportamento Paramétrico foi considerado Requisitado Totalmente para todos os ativos e Propósitos visto que poder haver necessidade futura de modificação da geometria dos ativos modelados. A definição anterior apresenta três exceções em que o aspeto foi considerado "Não Aplicável": para os Espaços em todos os usos; e para os Equipamentos de Cozinha, quando relacionados aos Usos de "Gerenciamento de Espaços" ou "Rastreamento de Ativos".

3.4.2. Informação Alfanumérica

Para o desenvolvimento dos requisitos de informação alfanumérica, admitiu-se que:

- Os Elementos Estruturais e Não Estruturais funcionam apenas como uma representação dos limites físicos do edifício em todos os usos, exceto para "Avaliação do ciclo de vida (LCA)". Este pressuposto implica que a única Informação Alfanumérica exigida para estes elementos nos Propósitos restantes foi a sua Identificação, sendo a lista de propriedades (Conteúdo da Informação) estabelecida como "Não Aplicável".
- Para o Uso "Gerenciamento de Espaços", o único grupo de objetos que apresentou propriedades requeridas foi o Espaços.
- O aspeto Identificação de todos os ativos será preenchido com seus respetivos tipos, seguindo a estrutura hierárquica apresentada na Tabela 3.

Para a definição do Conteúdo de Informação, o esquema IFC foi consultado e a aplicabilidade dos grupos de propriedades sugeridos pelo esquema foram analisados para cada IFC *Entity*. A Tabela 5 exemplifica e apresenta a lista de grupos de propriedades do esquema IFC que são associadas à três IFC *Entities* relevantes ao projeto (*IfcWall*, *IfcElectricAppliance* e *IfcSpace*).

Tabela 5
Grupos de propriedades sugeridos pelo esquema IFC por IFC *Entity*.

IfcWall	IfcElectricAppliance	IfcSpace
Pset_WallCommon	Pset_ ElectricApplianceTypeCommon	Pset_SpaceCommon
Pset_ConcreteElementGeneral	Qto_ ElectricApplianceBaseQuantities	Pset_ SpaceCoveringRequirements
Pset_ PrecastConcreteElementFabrication		Pset_ SpaceFireSafetyRequirements
Pset_ PrecastConcreteElementGeneral		Pset_ SpaceLightingRequirements
Pset_ReinforcementBarPitchOfWall		Pset_ SpaceOccupancyRequirements
Qto_WallBaseQuantities		Pset_ SpaceThermalRequirements
		Pset_AirSideSystemInformation
		Pset_SpaceThermalDesign
		Pset_SpaceThermalLoad
		Qto_SpaceBaseQuantities

Para *IfcWall*, as propriedades Referência e Status do grupo *Pset_Common* foram selecionadas para a "Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)", assim como para os demais Elementos Estruturais e Não Estruturais. Considerando o *IfcElectricAppliance*, todas as propriedades dos dois grupos foram selecionadas. Ainda para estes ativos, e para cada IFC *Predefined Type*, o esquema apresenta outros grupos sugeridos.

O *Pset_ElectricApplianceTypeElectricCooker* foi selecionado para ativos com ELECTRICOOKER como *PredefinedType*, e *Pset_ElectricApplianceTypeDishwasher* para o *PredefinedType* DISHWASHER. Em Espaços, o Conteúdo de Informação é solicitado apenas para "Gerenciamento de Relocalização", "Gerenciamento de Espaços", "Utilização em Tempo Real" e "Integração BIM/FM (BIM-FMI)", sendo todas as propriedades derivadas dos grupos apresentados na Tabela 5.

Além das propriedades por IFC *Entity*, outros grupos presentes no esquema foram inspecionados. Para os Elementos Estruturais e Não Estruturais e para o grupo Equipamentos, considerando a "Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)", todas as propriedades dos grupos *Pset_EnvironmentalImpactIndicators* e *Pset_EnvironmentalImpactValues* foram selecionadas. Ainda para o grupo Equipamentos, com o objetivo de rastrear as informações referentes a fabricação e garantia, foram selecionados *Pset_ManufacturerOccurrence*, *Pset_ManufacturerTypeInformation* e *Pset_Warranty*, bem como *Pset_Condition*, *Pset_ServiceLife* e *Pset_Asset* foram escolhidos por conter informações sobre o status do ativo. O grupo *Pset_ElectricalDeviceCommon* também foi adicionado aos requisitos para todos os *IfcElectricAppliance*. Para o caso em que nenhuma propriedade do esquema IFC abrangesse uma informação necessária, outros grupos foram criados. No caso dos Equipamentos, foram criados dois grupos de propriedades (*UMinho_TypeInventory* e *UMinho_Inventory*) para conter informações sobre o inventário da universidade. Dentro do subgrupo Equipamentos de Monitorização, os ativos do tipo Sensor tiveram o grupo *UMinho_SensorHistory* desenvolvido para englobar propriedades que pudessem armazenar os valores dos três tipos de medidas distintas realizadas pelos sensores (temperatura, umidade e concentração de CO2).

Nas tabelas de Nível de Informação Necessário (Tabela 4), o Conteúdo de Informação refere a tabelas secundárias organizadas como a Figura1, apresentando as propriedades selecionadas, se estas são associadas ao tipo ou a instância dos ativos, os tipos de dados para preenchimento das mesmas, as unidades destes valores e os propósitos associados a cada propriedade.

Propósitos										Propriedade	Grupo de Propriedades	Tipo de Dado	Instância ou Tipo	Unidade
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
			x	x		x		x	x	Status	Pset_SensorTypeCommon	Caracteres	Instância	n/a
				x				x	x	TemperatureSensorType	Pset_SensorTypeTemperatureSensor	Caracteres	Tipo	n/a
				x				x	x	SetPointTemperature		Decimal	Tipo	°C
				x				x	x	SetPointHumidity	Pset_SensorTypeHumiditySensor	Decimal	Tipo	n/a
				x					x	InstallationDate_UMinho	UMinho_Inventory	Date	Instância	n/a
			x	x		x		x	x	InventoryCode_UMinho		Caracteres	Instância	n/a
				x					x	AcquisitionCost_UMinho		Decimal	Instância	Euros

Figura 1
Parte da tabela de Conteúdo de Informação para um equipamento do tipo Sensor.

3.4.3. Documentação

O aspeto Documentação foi considerado "Não Aplicável" a todos os Propósitos e ativos, visto os requisitos alfanuméricos e geométricos já englobarem toda informação necessária.

4. Desenvolvimento do modelo de informação

Seguindo as orientações do AIR o modelo de informação da cantina foi criado (Figura 2).

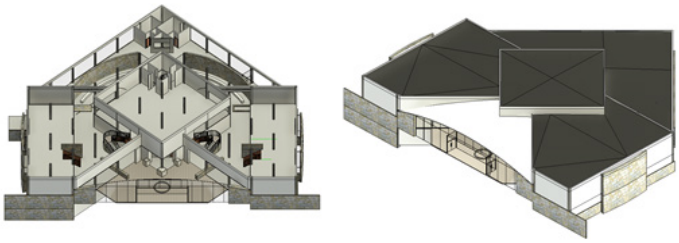


Figura 2
Vista tridimensional do modelo no software autor.

4.1. Processo pré-modelação

Os pontos relevantes considerados antes do processo de modelação foram:

- Hierarquia de propriedades – o Revit associa automaticamente uma lista de propriedades ao modelo criado de acordo com o tipo de objeto a ser modelado. Portanto, foi necessária comparação entre estas propriedades e aquelas exigidas no Nível de Informação Necessário dos ativos para evitar a inserção de propriedades duplicadas.
- Propriedades sem valores – foram definidos valores neutros para preenchimento de propriedades em que não se tinha conhecimento de seus valores bem como para o caso das propriedades automáticas não contempladas no Nível de Informação Necessário.

4.2. Modelação

O modelo de informação foi desenvolvido segundo os requisitos de informação. Para cada ativo, após a modelação geométrica, inseriu-se a lista de propriedades com respetivos valores. Finalizado o modelo de informação (Figura 2), o mesmo foi exportado em formato IFC.

4.3. Verificação e Validação

O ficheiro IFC exportado foi inserido no *software* de visualização Solibri e o processo de verificação foi realizado por uma comparação visual conduzida individualmente para cada modelo de Equipamento e para o modelo completo da edificação, incluindo

os espaços. A verificação atestou a presença das propriedades requeridas pelo Nível de Informação Necessário, mostrando os valores associados a cada uma delas. O processo de verificação do modelo garantiu que o arquivo IFC final gerado estivesse sob as determinações do AIR.

Após a verificação, o ficheiro IFC exportado foi validado através da simulação do uso de "Manutenção de Ativos" em uma plataforma de inteligência empresarial (Power BI). Um relatório FM foi criado permitindo a visualização dos dados dos Equipamentos, apresentando seu número total, localização, propriedades associadas e análise do prazo de garantia dos mesmos. O processo de validação garantiu que o modelo foi eficiente quanto ao uso pretendido.

5. Conclusões

O trabalho se destaca no contexto da implementação estratégica do BIM para FM por abranger o processo de definição de requisitos de informação como um todo, explicitando as etapas do procedimento com consideração constante às determinações da normalização aplicável. A ausência de orientações detalhadas para a criação de requisitos de informação voltados ao tipo específico de edificação foi confirmada como uma dificuldade considerável para o desenvolvimento do trabalho. Entretanto, a consulta da série ISO 19650 [6]–[8] ajudou a compreender o processo de gerenciamento de informação com recurso ao BIM. A metodologia do Nível de Informação Necessário permitiu um processo simplificado, baseado em etapas, conceitos e diretrizes bem definidas. A perspetiva orientada para o propósito auxiliou no processo de tomada de decisão quanto à relevância em exigir um ou outro nível de complexidade para cada tipo de informação. Em contrapartida, destaca-se que o método proposto requer uma análise minuciosa para determinar o requerimento final de cada aspeto de informação (geométrica, alfanumérica e documental) que um ativo específico exigirá quando os usos estiverem interligados para o mesmo Marco de Entrega de Informação. A consulta ao esquema IFC auxiliou na definição das propriedades a requerer, garantindo, desde o início do processo, uma seleção de requisitos focada em interoperabilidade. O trabalho final pode ser consultado por gestores que visam a definição de requisitos de informação, com recurso a metodologia BIM, e seu conteúdo pode ser adaptado para atender o escopo de outras organizações e projetos. O processo de desenvolvimento dos requisitos, bem como as decisões tomadas durante o mesmo, podem auxiliar no gerenciamento da informação voltado a utilização da metodologia BIM, estando em concordância com a série ISO 19650 e EN17412-1.

6. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de P & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020. Agradece-se também o apoio financeiro providenciado pelo projeto Cognitive CMMS – Cognitive

Computerized Maintenance Management System (POCI-01-0247-FEDER-033574), financiado pelos programas COMPETE2020, Portugal2020 e FEDER.

Referências

[1] International Facility Management Association, "What is Facility Management", 2021. https://web.archive.org/web/20210723055854/https://www.ifma.org/about/what-is-facility-management/ (accessed Aug. 02, 2021).

[2] A. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, *Building information modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. 2018.

[3] R. R. A. I. G. Mayo, "Processes and Standards for BIM Closeout Information Deliverables for Owners", *Comput. Civ. Build. Eng.*, pp. 673-680, 2014.

[4] B. G. and R. R. A. I. G. Mayo, "BIM Use and Requirements Among Building Owners", *Comput. Civ. Eng.*, pp. 349-356, 2012, doi: 10.2331/suisan.35.791.

[5] A. S. de Oliveira, "BIM-FM applied to the UMinho' s Canteen of Azurém: Asset Information Requirements and proof of viability", Universidade do Minho, 2021.

[6] UK BIM Framework, "Information Management according to BS EN ISO 19650 – Guidance Part 1: Concepts", *UK BIM Alliance*, no. july, p. 42, 2019, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20210716122719/https://www.ukbimalliance.org/wp-content/uploads/2019/04/Information-Management-according-to-BS-EN-ISO-19650_-Guidance-Part-1_Concepts_2ndEdition.pdf.

[7] UK BIM Framework, "Information Management according to BS EN ISO 19650 – Guidance Part D Developing information requirements", *UK BIM Framew.*, no. April, p. 42, 2019, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20210308154329/https://www.ukbimframework.org/wp-content/uploads/2021/02/Guidance-Part-D_Developing-information-requirements_Edition-2.pdf.

[8] UK BIM Framework, "Information management according to BS EN ISO 19650 Guidance Part 3 Operational phase of the asset life-cycle", *UK BIM Alliance*, no. February, p. 22, 2021, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20210802204348/https://www.ukbimframework.org/wp-content/uploads/2021/02/Guidance-Part-3_Operational-phase-of-the-asset-life-cycle_Edition-2.pdf.

[9] EN 17412-1, *Building Information Modelling. Level of Information Need. Concepts and principles*. Brussels: European Commitee for Standardiization, 2020.

[10] BIMExcellence, "211in Model Uses Table", 2019. [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20210802204650/https://bimexcellence.org/wp-content/uploads/211in-Model-Uses-Table.pdf.

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

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

Rita Machete[1], **Jonatan Villavicencio**[2], **Ana Paula Falcão**[3], **Alexande B. Gonçalves**[4], **Rita Bento**[5]

[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 caráter 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:

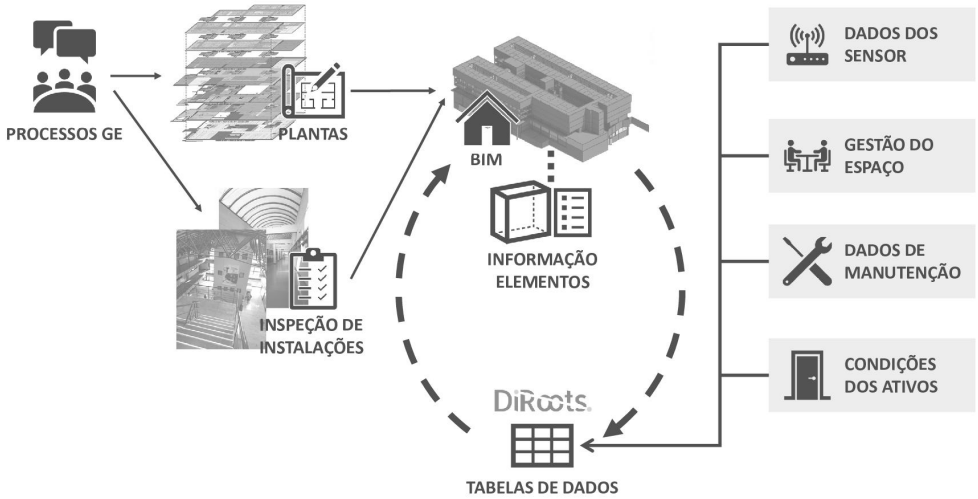


Figura 1
Fluxo geral da solução implementada.

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).

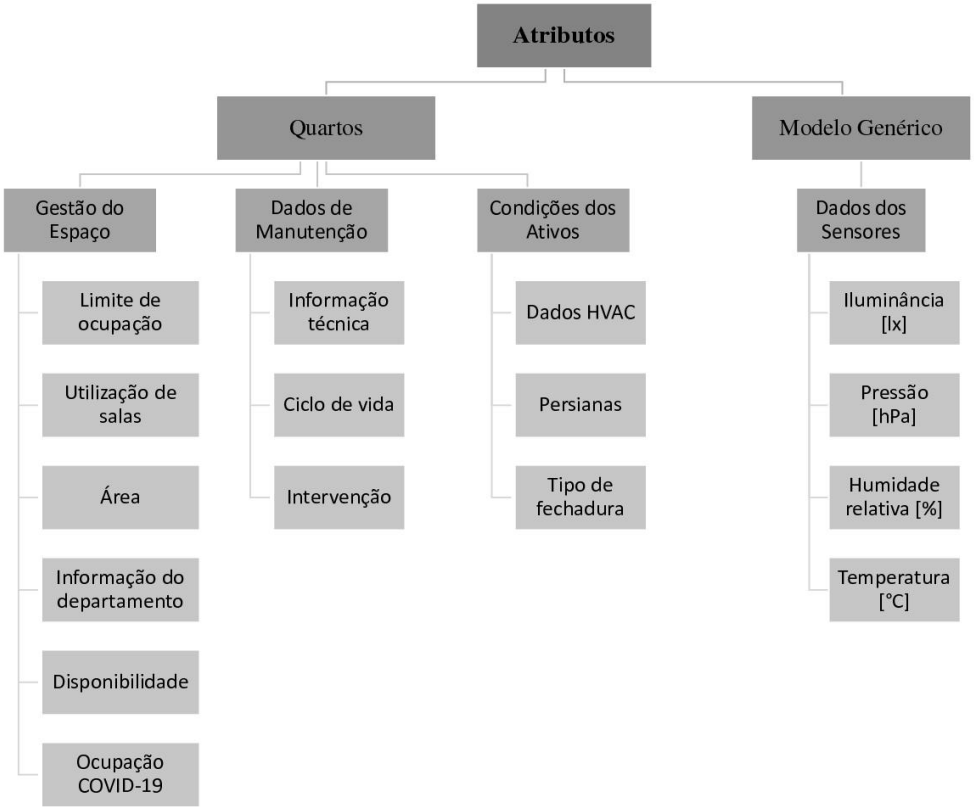


Figura 2
Árvore de atributos para o modelo BIM.

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.

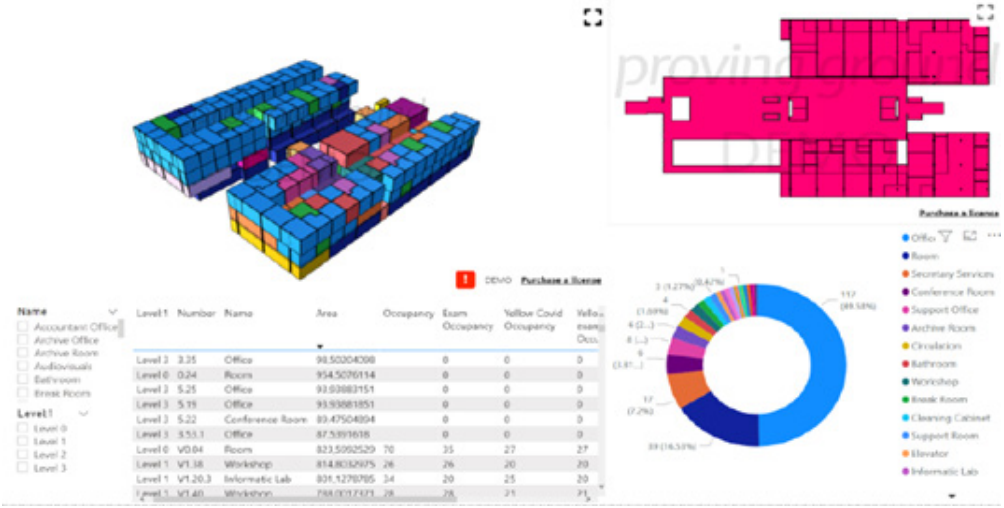


Figura 3
Exemplo de um relatório do Microsoft Power BI® para o edifício do estudo de caso.

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.; Vandenbergh, 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.; Bandhyopadyay, 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/.

Aplicação de conceitos de gémeo digital e BIM: Estudo de caso na gestão de pontes e viadutos

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.52

Guilherme Lima[1,2], **Leonardo Factori**[2], **Magda Junqueira**[2], **Rodrigo dos Santos**[2], **Lucas Borba**[2], **Otávio Gonçalves**[2]

[1] *Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil*

[2] *Concremat Engenharia e Tecnologia, São Paulo, Brasil*

Resumo

Não há dúvidas sobre a importância do período de operação de um ativo de infraestrutura quando comparado ao seu ciclo de vida. Porém, apesar de tal relevância, faltam ferramentas e fluxos de trabalho que permitam gerenciar de forma segura e dinâmica a massa de informações que é gerada durante a operação de tais ativos.

Neste artigo – focado em pontes e viadutos - serão apresentados conceitos de Gemêo Digital e como podem auxiliar às equipes de engenharia, a fim de fornecer-lhes informações para tomadas de decisões de forma ágil, segura e holística.

Somado a isso, será apresentado um fluxo de trabalho sugestivo que permita a integração de tais informações. Passando pela captura em massa de dados em campo, modelagem BIM, coleta de dados a partir de inspeções em campo, sensores e ferramentas de gestão física e financeira de ativos.

Por fim, será apresentado um caso de estudo retratando o processo e resultados da aplicação de tal fluxo em um viaduto na cidade de São Paulo – Brasil.

1. Introdução

Estima-se que no Brasil existam mais de 130.000 pontes e viadutos, que são denominadas como Obras de Arte Especial (OAE) [7]. Tais estruturas são fundamentais para os modais rodoviários e ferroviários, permitindo a continuidade geométrica do traçado desejado. Tendo em vista o grande volume de ativos existentes e sua inerente necessidade de conservação e manutenção, o estudo de caso em questão procurou utilizar conceitos de Gémeos Digitais (GD) e BIM direcionados ao segmento de gestão de ativos, a fim de fornecer às equipes de engenharia e gestão informações para tomadas de decisões de forma ágil, segura e holística. A seguir apresentada uma breve revisão bibliográfica de GD aplicados à gestão de ativos da construção civil.

1.1. Gémeos digitais

Os GD podem ser classificados em *Digital Twin – Prototype (GDP)* e *Digital Twin – Instance (GDI)* [1]. No contexto do presente estudo de caso, a definição GDI se mostra mais aderente, onde entende-se que um Gémeo digital que representa um específico produto físico a qual a representação digital permanece vinculada ao longo de toda vida útil de tal produto. Este GD pode conter as seguintes informações, não estando limitado a estas: Modelo 3D com fidelidade geométrica que represente com precisão o produto e seus componentes, relação dos materiais e componentes que compõe o produto, relação das ações e intervenções que já ocorreram no produto desde o início de seu ciclo de vida, juntamente com os resultados de quaisquer medições e ensaios já realizados, e por fim o estado operacional do produto, a ser capturado e registrado a partir do uso de sensores.

Outra definição que auxilia no entendimento sobre o conceito de GD é a que sugere que um GD pode ser definido como uma representação virtual de um ativo físico habilitado por meio de dados e simuladores para previsão em tempo real, otimização, monitoramento, controle e decisão aprimorada. [2]

A imagem abaixo ilustra o fluxo de dados entre o ativo físico e sua representação digital, podendo ser realizado de forma automatizada ou não.

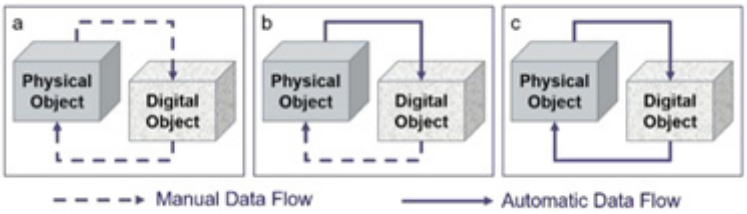


Figura 1
Fluxos de dados em um Digital Twin. Fonte:[2].

1.2. Gémeo Digital na Gestão de Ativos na Construção Civil

A aplicação de GD na fase de Operação e Manutenção (O&M) pode contribuir de forma substancial na gestão dos ativos de construção civil [3][12][13][14], onde globalmente existem diversos estudos já publicados [4].

No contexto de gestão de ativos, os GD podem ser divididos em três frentes de aplicação. A primeira trata-se de monitoramento, que tem como foco a captura de dados do ativo físico para atualização de sua representação digital. A segunda categoria é definida como análise, que é feita a partir da combinação dos dados oriundos de campo com sua representação digital. Nesse momento são realizados os diagnósticos necessários para as tomadas de decisão. A terceira é denominada ação, que não só se concentra na coleta de dados das partes físicas para as partes virtuais, mas também busca intervir nas partes físicas usando partes virtuais, como por exemplo, o controle automático de componentes de um ativo [3].

Ao obter informações geométricas a partir de nuvens de pontos [8] e imagens [9] o GD pode ser empregado para detectar tanto falhas construtivas, quanto anomalias decorrentes da utilização e/ou falta de manutenção daquele ativo. Ao utilizar sensores e consistentes fluxos de trabalho, o GD pode ser empregado para monitorar as condições do ativo como um todo e seu componentes [11], onde a partir dessa massa de informações é possível diagnosticar as inconsistências para que as decisões sejam tomadas baseadas em dados.

No contexto de OAEs, estudos utilizando tecnologias avançadas de sensoriamento remoto, incluindo varredura a laser terrestre, vídeo e fotogrametria para captura rápida e precisa do estado de uma ponte, combinado à modelagem 3D paramétrica e processamento de dados oriundos de campo [13] serviram de referência para o estudo de caso objeto deste artigo.

2. Metodologia

A seguir será descrita a metodologia de trabalho utilizada no estudo de caso em questão, que será focado em pontes e viadutos já existentes. O fluxo de trabalho simplificado está representado na imagem abaixo:

Figura 2
Fluxo de trabalho Simplificado. Fonte: o autor.

2.1. Digitalização do ativo

O processo de gestão de pontes e viadutos passa pela necessidade de documentar as intervenções realizadas – especialmente as que impactam a geometria e seções estruturais – ao longo de sua vida útil. Tais informações são fundamentais para possibilitar tomadas de decisão baseadas em dados consistentes, promovendo ações com maior potencial de precisão e racionalidade.

Tendo em vista a rotineira ausência de projetos e documentações em OAEs existentes e a necessidade de precisão e agilidade no cadastro das geometrias, optou-se pela utilização da metodologia laser scanning. A utilização de tecnologias de levantamento de dados em massa permite aumentar o volume de pontos coletados, tornando o processo mais preciso, veloz e consistente.

A partir da nuvem de pontos que é gerada, a mesma será utilizada como referência geométrica para modelagem tridimensional. Dessa forma é otimizada a captura e disponibilização dos dados capturados campo, minimizando erros e inconsistência de dados nas etapas seguintes.

2.2. Modelagem BIM

Para potencializar a utilização das informações geométricas e paramétricas dos elementos que serão modelados, a metodologia BIM cumpre um papel essencial. A fim de garantir que as informações sejam registradas conforme necessidade da gestão de manutenção é definido o *Level of Development (LOD)* necessário para que o modelo tenha detalhes suficientes, do ponto de vista de informações gráficas e não-gráficas. A especificação de nível de LOD é uma referência que permite especificar e articular com alto nível de clareza o conteúdo e a confiabilidade dos Modelos, em vários estágios do processo de projeto e construção [6].

2.3. Ambiente de Integração de Dados

Para que seja possível realizar as conexões bi-direcionais entre o ativo físico e sua representação digital, é necessário que haja um ambiente que permita tanto o fluxo de informações quanto o armazenamento e consumo das mesmas. Tal ambiente consiste em uma plataforma, em nuvem, que permita tanto o desenvolvimento – dada a necessidade de se adaptar as necessidades operacionais inerentes à gestão do ativo – quanto a integração por meio de *Application Programming Interface (API)*.

Ou seja, é neste ambiente que é realizada de forma prática a integração do modelo BIM com dados provenientes de sensores, por exemplo

2.4. Entrada de dados

Conforme descrito anteriormente, a entrada de dados pode ocorrer de forma manual ou automática. Entende-se como entrada manual a transição de dados que

necessitam ser coletados e/ou transmitidos por meio de intervenção humana, como por exemplo, a avaliação do nível de criticidade de uma anomalia em um elemento estrutural.

A entrada automática por sua vez, consiste na transmissão de dados do ativo físico para o digital sem intermédio humano. Para esse caso utiliza-se como exemplo os sensores que estejam conectados à internet e tenham capacidade de realizar o envio automático de suas leituras para a rede.

2.5. Plataforma de Gestão de Ativos

Por fim, toda essa massa de dados é concentrada e gerida em uma plataforma que permitirá:

- Repositório das informações coletadas em campos;
- Interface tridimensional com o modelo BIM e demais informações agregadas ao longo da vida útil do ativo;
- Definição dos tratamentos adequados para cada tipo de anomalia;
- Estimativas orçamentárias, a partir do cadastro de bases públicas de insumos e parametrização de serviços associados a cada tipo de tratamento;
- Gestão do prazo das intervenções necessárias para recuperação do ativo;
- Elaboração de relatórios automatizados, tanto de enfoque técnico, quanto de gestão física-financeira.

3. Estudo de Caso

O presente estudo de caso teve como campo de aplicação OAEs na cidade de São Paulo, Brasil, onde as pontes e viadutos que foram objetos deste estudo de caso, eram estruturas já existentes. Com base na metodologia apresentada no tópico anterior, foram realizados ao longo do ano de 2021 atividades de campo e atividades de modelagem e desenvolvimento.

As atividades de campo compreendem os serviços levantamento da geometria do ativo e mapeamento das anomalias existentes. Já as atividades de modelagem e desenvolvimento referem-se ao processo de digitalização do ativo, por meio de modelagem BIM, e desenvolvimento de solução que permitisse não só a integração dos dados entre o ativo físico-digital, mas também a realização de gestão técnica, física e financeira do ativo. Tal solução foi denominada como Sistema Integrado de Gestão de Ativos (SIGA). A imagem abaixo ilustra as informações de entrada no sistema e as saídas que tem como principal objetivo promover a melhoria na gestão do ativo como um todo.

Figura 3
Entradas e saídas da solução SIGA. Fonte: o autor.

3.1. Levantamento de Geometria

A partir do uso de *laser scanner* terrestres, foi gerada uma nuvem de pontos para mapeamento da geometria do ativo. A fim de garantir a densidade da nuvem, estabeleceu-se a taxa mínima de 1000 pontos x m², buscando garantir o mapeamento de detalhes geométricos das pontes e viadutos, de forma que seja possível identificar, por exemplo, variações de seção nos elementos estruturais.

Figura 4
Nuvem de pontos de alta densidade. Fonte: o autor.

Após o trabalho de campo, foi realizado o processamento dos dados, que em diversos casos atingia a ordem de 50GB, para posterior geração da nuvem de pontos. Tal processamento foi realizando utilizando um *software* que além de processar, permite a interação com a nuvem, auxiliando na extração de medidas e na eliminação de áreas de pontos não-relevantes.

3.2. Modelagem BIM

Com o auxílio da nuvem de pontos, foram realizadas as modelagens 3D paramétricas das pontes e viadutos. Nesse processo a geometria dos elementos foi definida a partir dos dados extraídos da nuvem, permitindo que os modelos fossem geometricamente fidedignos aos ativos existentes em campo.

Cabe ressaltar a importância da inclusão de informações geométricas e não-geométricas para representar os elementos estruturais, como a função estrutural de cada elemento e as características do material que os compõe. Essa ação é fundamental para que o modelo possa atuar como uma referência consistente nas etapas seguintes.

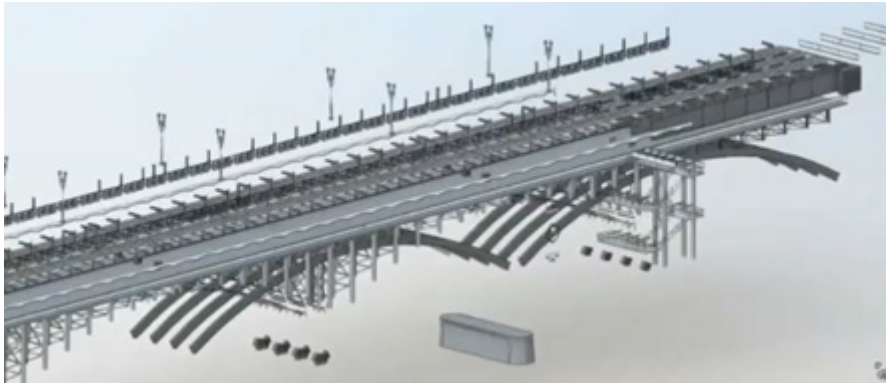


Figura 5
Elementos modelados conforme características estruturais. Fonte: o autor.

3.3. Registo de Anomalias

A partir de uma aplicação mobile que possibilita que equipes de campo tenha acesso ao modelo 3D, as anomalias são mapeadas diretamente nos elementos estruturais, registrando suas características, parecer prévio e imagens que a referenciem e ilustrem. A aplicação possibilita a utilização *offline* – característica fundamental para esse tipo de segmento.

Figura 6
Registo de anomalias no modelo. Fonte: o autor.

Após a conclusão do levantamento de anomalias pela equipe de campo, os dados atrelados são enviados por meio de sincronia à um ambiente em nuvem, concebido a partir de desenvolvimento computacional próprio e integração com APIs, viabilizando o acesso ao modelo e às informações coletadas em campo.

3.4. Integração dos Dados

A partir da integração com os dados oriundos da inspeção em campo, a plataforma web possibilita a visualização espacial de cada um dos ativos, bem como as anomalias atreladas de forma espacializada e suas respectivas características. Essa massa de dados centralizada e digitalizada, permite a aplicação combinada com softwares de Business Intelligence, gerando uma série de indicadores, gráficos e *dashboards* que irão permitir uma análise otimizada sobre as reais condições do ativo em questão.

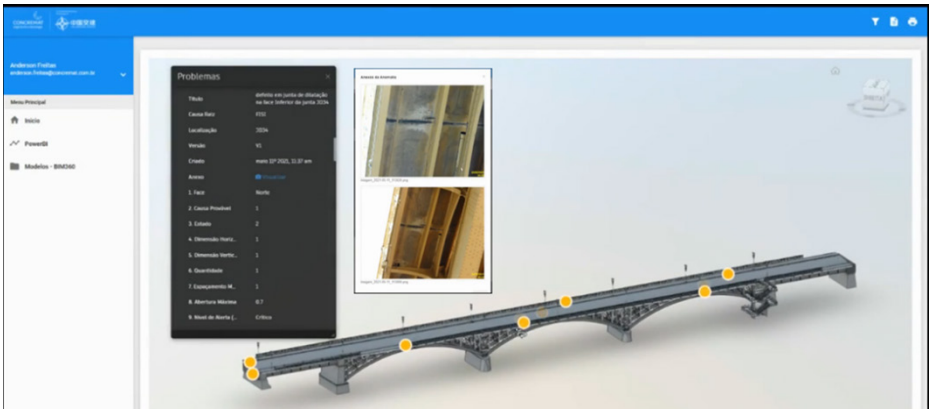


Figura 7
Integração do modelo com dados coletados em campo. Fonte: o autor.

Além disso, foi desenvolvido um módulo que realiza a geração de relatórios técnicos personalizados das anomalias registradas em campo, apresentando tando as características da anomalia, quanto imagens e sua localização no modelo BIM.

Figura 8
Relatórios automatizados e personalizados. Fonte: o autor.

A solução prevê também o recebimento de dados oriundos de sensores. O fluxo simplificado abaixo representa o caminho que os dados coletados irão percorrer desde o campo até ao servidor em nuvem, sendo este último integrado via API com o SIGA, viabilizando o consumo das leituras de campo de forma remota.

Figura 9
Fluxo simplificado de transmissão de dados de sensores. Fonte: o autor.

A integração com sensores é fundamental para o monitoramento de ativos que estejam em situações de maior criticidade, permitindo entender com maior precisão o seu comportamento real. Os dados coletados por sensores como LVDT, Acelerômetro *e Strain Gauge* são essenciais para a avaliação global da estrutura bem como a calibração de modelos estruturais. Na imagem abaixo é possível observar um exemplo de integração modelo-sensor, onde há uma representação digital do posicionamento do sensor perante ao elemento e os respectivos dados coletados.

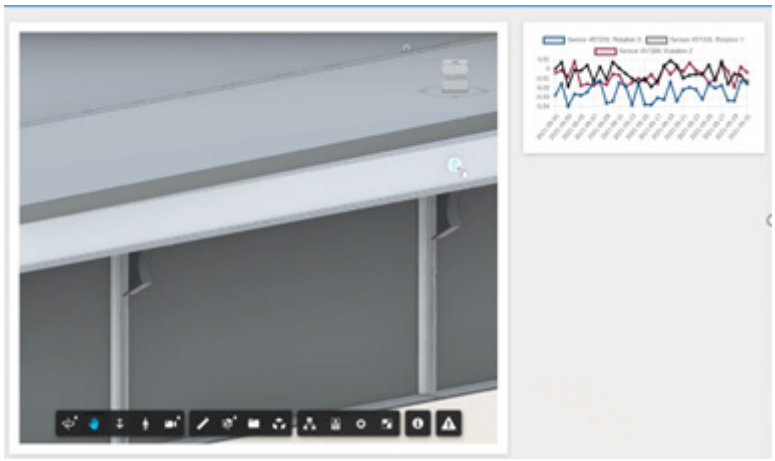


Figura 10
Integração entre modelo e dados de sensores. Fonte: o autor.

3.5. Tratamentos e Gestão da Manutenção

Para definição e atribuição dos tratamentos recomendados, a plataforma conta com um módulo que permite o cadastro prévio de tais tratamentos para que posteriormente possam ser correlacionados às anomalias. Cada tratamento possui atrelado a si os serviços necessários para recuperação, bem as composições de insumos e mão-de-obra.

Junto às composições são atribuídas as bases orçamentárias, visando a geração automatizada de orçamentos de referência, permitindo que o gestor tenha entendimento do investimento necessário para recuperação do ativo em questão.

		CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A				Data:	08/12/2021
		Ativo:	EST-Ponte Com Hungara.rvt	Mês referência:	10/2021		
		Gerado por:	Leonardo Factori				
		Gerado em:	04/10/2021 14:59:04				
		Valor total:	R$ 2.986,67				
Anomalia(s):		#10 - Corrosão na estrutura, #9 - Infiltração, #8 - Corrosão na Viga					
Item	Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor un.	Coeficiente	Valor total
1	8	T1 - PREPARAO DE CONCRETO PARA RECUPERAO					R$ 0,00
1.1	T1	PREPARAÇÃO DE CONCRETO PARA RECUPERAÇÃO	m²	1.0000			R$ 0,00
2	T0	LIMPEZA PRVIA DOS ELEMENTOS					R$ 8,16
2.1	1	LIMPEZA PRÉVIA DOS ELEMENTOS	m²	3			R$ 8,16
2.1.1	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Hora		R$ 14,84	0,0890	R$ 3,96
2.1.2	CPU7A	BOTA FORA	m³		R$ 32,29	0,0320	R$ 3,09
2.1.3	E9028	COMPRESSOR COM MANGUEIRA DE ALTA PRESSÃO PRÓPRIO PARA HIDROJATEAMENTO (LAVADORA PROFISSIONAL - 5,2 KW)	Hora		R$ 24,79	0,0150	R$ 1,11
2	T1	PREPARAO DE CONCRETO PARA RECUPERAO					R$ 2.967,80
2.1	2.1	DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE REPARO	m²	44.0000			R$ 2.967,80
2.1.1	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Hora		R$ 14,84	0,5500	R$ 8,16
2.1.2	212	PEDREIRO	Hora		R$ 18,30	1,1000	R$ 20,13
2.1.3	215	DEMOLIÇÃO DE CONCRETO COM MARTELETE	m³		R$ 39,16	1,0000	R$ 39,16

Figura 11
Exemplo de relatório orçamentário automatizado. Fonte: o autor.

O módulo de gestão de prazo permite a definição tanto dos prazos estimados para execução dos tratamentos, quanto a gestão dos prazos reais, permitindo que o gestor realize o acompanhamento da evolução das correções naquele ativo. Por fim, todos os dados presentes na plataforma são reproduzidos em *dashboards* compostos de indicadores e gráficos, que tem como objetivo apresentar o status daquele ativo de forma gerencial e didática.

Figura 12
Dashboard com indicadores de anomalias. Fonte: o autor.

4. Conclusões

Atualmente já existem diversas pesquisas que ressaltam os potenciais de aplicação de GD na gestão de ativos da construção civil [3][4]. O presente artigo teve como objetivo apresentar de forma prática a utilização combinada de conceitos de BIM e GD na gestão de pontes e viadutos, estruturas de extrema importância para a logística de qualquer país.

Observou-se que nos casos de estruturas existentes, é de suma importância um trabalho minucioso e preciso na coleta das informações geométricas e estruturais, para que de fato se tenha uma representação digital fidedigna à realidade. Tal ação pode

ser otimizada a partir de métodos de coleta em massa, como por exemplo, *laser scanning*, que além de promover maior agilidade, garante precisões milimétricas e redução de exposição de equipes em locais de difícil acesso.

A partir da aplicação do estudo de caso, foi possível observar otimização na realização das inspeções em campo, permitindo maior precisão das informações coletadas e tratadas e redução do tempo necessário no fluxo de coleta, processamento e disponibilização dos dados. Além disso, por ser uma metodologia de trabalho que promove intensa digitalização e integração de uma série de grupos informacionais, existe a expectativa de redução entre 10% a 25% das despesas operacionais associadas a esse tipo de atividade.

Por fim, sugere-se que novas pesquisas sejam desenvolvidas no sentido de estabelecer protocolos de transmissão de dados de sensores localizados em regiões remotas, característica comum de ativos da construção civil; e meios de interoperabilidade entre dados oriundos de sensores e modelos estruturais, de forma que permita o entendimento, por exemplo, de como deformações excessivas em determinados elementos podem afetar o conjunto estrutural como um todo.

5. Referências

[1] Infra ROI, "Brasil tem 137 mil pontes que precisam de manutenção periódica", disponível em http://infraroi.com.br/brasil-tem-137-mil-pontes-que-precisam--de-manutencao-periodica/. Acesso em 28/12/2021

[2] Rasheed A. San O., Kvamsdal T., "Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective", IEEE Access, vol.8, pp 21980-22012, Jan. 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143

[3] Jiang F., M. Ling, Broyd T., Chen K., "Digital twin and its implementations in the civil engineering sector", Automation in Construction, vol 130, ref. 103838, Out. 2021. Doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103838

[4] Q. Lu, L. Chen, S. Li, M. Pitt, "Semi-automatic geometric digital twinning for existing buildings based on images and CAD drawings", Automation in Construction, vol 115, ref. 103183, Jul. 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103183

[5] Q. Lu, X. Xie, A.K. Parlikad, "Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance", Automation in Construction, vol 118, ref. 103277, Out. 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103277

[6] R. Lu, I. Brilakis, "Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters", Automation in Construction, vol 105, ref. 102837, Set. 2020. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102837

[7] P.E.D. Love, J. Matthews, "The how of benefits management for digital technology: From engineering to asset management", Automation in Construction, vol. 107, ref 102930, Nov. 2019. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102930.

[8] E.B. Anil, P. Tang, B. Akinci, D. Huber, "Deviation analysis method for the assessment of the quality of the as-is Building Information Models generated from point cloud data", Automation in Construction, vol 35, pp 507-516, nov. 2013. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.06.003

[9] L. Klein, N. Li, B. Becerik-Gerber, "Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings", Automation in Construction, vol. 21, pp. 161--171, Jan. 2012. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023

[10] C.S. Shim, N.S. Dang, S. Lon, C.H. Jeon, "Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model", Structure and Infrastructure Engineering, vol 15, pp 1319-1332, out. 2019. doi: https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1620789

[11] R. Sacks, A. Kedar, A. Borrmann, L. Ma, I. Brilakis, P. Hüthwohl, S. Daum, U. Kattel, R. Yosef, T. Liebich, B.E. Barutcu, S. Muhic, "SeeBridge as next generation bridge inspection: overview, Inform. Del. Manual Model View Definition", Automation in Construction, vol 90, pp. 134-145, Jun. 2018. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.033.

[12] LOD Specification, " 2021 Level of Development (LOD)Specification for Building Information Models," BIM Forum, 2021.

Adoção de BIM para economia circular no setor da construção

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.53

Thayane Rezek[1], **Sérgio Scheer**[1], **Sérgio Tavares**[1]

[1] *Universidade Federal do Paraná, Curitiba*

Resumo

O setor da construção civil gera muitos impactos ambientais, entre eles a grande quantidade de resíduos. Além de ser considerado um impacto ambiental, a geração de resíduos pode ser vista também como um problema econômico. A economia circular surge como uma solução para a administração dos resíduos gerados, na qual os recursos deixam de ser somente explorados e descartados e passam a ser reaproveitados em um novo ciclo. Formas de se integrar a economia circular na indústria da construção vêm sendo estudadas e discutidas, entre elas o uso da modelagem da informação da construção (BIM). BIM pode ser aplicada para atingir objetivos específicos, possibilitando seu uso para suportar a integração entre a indústria da construção e a economia circular. Dada a importância do setor para a economia, se faz necessária a investigação de métodos que apoiem modelos de negócios mais sustentáveis para então promover a sustentabilidade da economia, do meio ambiente e da sociedade. Desta forma o presente artigo tem como objetivo identificar através de uma revisão sistemática da literatura como BIM tem sido utilizada para suportar a economia circular. As práticas utilizadas nos trabalhos estudados integraram a economia circular não somente aos modelos BIM, mas aos processos. Com isso foram abordadas cinco possibilidades de usos de modelos BIM, de acordo com sua adoção na utilização na economia circular.

1. Introdução

As empresas de construção ao longo das décadas adotaram os modelos de negócios do berço ao túmulo [1]. O atual modelo econômico linear de fazer, usar e descartar está crescendo de forma insustentável, muito além dos limites finitos do planeta Terra [2]. Por isso, a indústria da construção é um dos maiores consumidores mundiais de recursos (areia, materiais de construção) e produz uma quantidade significativa de resíduos [3]. Assim, é necessário praticar a prevenção e redução do desperdício em todas as fases da construção [4].

Como uma forma de repensar a maneira como os recursos estão sendo usados não apenas para a produção e os sistemas econômicos, mas também para enfrentar a escassez de recursos à medida que a população humana e as demandas crescem, surgiu a ideia de "circularidade" [5].

A economia circular é importante na adoção de modelos de negócios verdes porque o atual sistema econômico industrial não é mais sustentável [1]. O objetivo principal em uma economia circular é garantir que a utilidade máxima seja obtida dos materiais por meio da reciclagem e reutilização direta [6].

Em uma economia circular, os produtos em final de vida ainda são considerados recursos e são reintroduzidos no circuito econômico [2]. Ou seja, é garantido que os valores derivados dos materiais são mantidos na economia por um período prolongado para diminuir a quantidade de resíduos que está sendo transferida para aterro, melhorando assim a sustentabilidade do meio ambiente e do negócio [6].

O tipo de modelo de negócio adotado pelas construtoras tem potencial para promover a sustentabilidade da economia, do meio ambiente e da sociedade [1]. As tecnologias digitais são motores de mudança nos processos tradicionais e nas cadeias de valor da indústria, e possuem um grande potencial para a realização de uma economia circular no setor de construção [3]. O conceito de Economia Circular promove soluções tecnológicas e de negócios para criar maior valor, reduzindo ao mesmo tempo a transferência de recursos [7].

Apesar da construção civil ser uma das indústrias menos digitalizadas [3] a recente mudança de paradigma para uma abordagem centrada em design e centrada em informações para a construção de edifícios favoreceu a adoção de *Building Information Modeling* (BIM) [8].

BIM é definido como um conjunto inter-relacionado de políticas, processos e tecnologias que geram uma metodologia para gerenciar a essência de projeto da edificação/construção e dados associados num formato digital, em todo ciclo de vida da edificação [9].

Com isso expandir o uso do BIM para contextos da economia circular pode apoiar a mudança dos modelos de negócios do berço ao túmulo para do berço ao berço.

Dessa forma o presente estudo tem como objetivo identificar de quais maneiras o BIM pode ser usado para sustentar a adoção da economia circular.

2. Método

Uma revisão sistemática de literatura foi desenvolvida para encontrar estudos relevantes e para avaliar suas respectivas contribuições e em seguida formular quais os principais usos do BIM na economia circular. Em relação ao resultado a literatura foi utilizada para mapear questões da aplicação do BIM relacionados aos conceitos da economia circular e para uma análise de dados dos artigos selecionados foram utilizados parâmetros como o ano de publicação, local de publicação e país dos autores.

A revisão foi realizada em seis passos. No primeiro passo foi estabelecida a estratégia da pesquisa, os termos e locais de busca foram definidos e selecionou-se quatro fontes de dados para a pesquisa, as palavras-chave foram utilizadas de acordo com o objetivo determinado e o período de publicações (de 2011 a 2021) . Na tabela 1 estão apresentados os totais de artigos obtidos.

Tabela 1
Passo 1.

Palavras chave	Base de dados	Número de publicações
"BIM" e "Circular economy"	Scopus	46
	Science Direct	12
	Emerald Insight	38
	Web of Science	39
Total		135

No próximo passo foram eliminadas as publicações que não eram artigos, resultando na exclusão de 42 publicações. Com os artigos restantes foi realizada a leitura dos títulos. Neste passo foram excluídos 34 artigos, resultando na seleção de 59 artigos.

O quarto passo consistiu na leitura dos resumos dos artigos. Nessa fase foram selecionados artigos que desenvolviam estudo sobre a economia circular em conjunto com BIM. Nesse processo foram selecionados 36 artigos. No próximo passo os artigos foram enviados para o programa Mendeley onde foi possível eliminar os artigos duplicados restando 21 artigos.

No sexto e último passo foi feita a leitura completa dos artigos em que foi possível analisar como o BIM era utilizado nos estudos e que poderiam ter seus dados extraídos para a elaboração da presente pesquisa. O fluxograma do método utilizado baseado na Revisão Sistemática da Literatura pode ser observado na figura 1. Neste passo cinco artigos foram excluídos por não tratarem diretamente das duas abordagens. O estudo de Minunno *et al*[10] apesar de proporem a identificação de oportunidades para o desenvolvimento de uma cadeia de abastecimento de circuito fechado na indústria da construção, os autores não utilizam o BIM para tal finalidade.

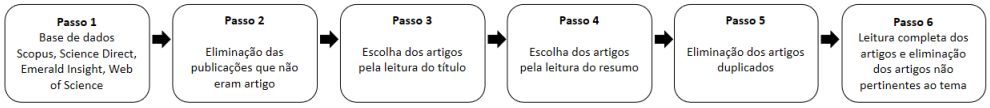


Figura 1
Passos da revisão sistemática da literatura.

Enquanto que Turner *et al* [11] utilizam o BIM na pesquisa, mas não objetivam alcançar a economia circular, apesar de concluírem que a estrutura apresentada pode ser facilitada por uma representação BIM para descrever um projeto de construção como um ativo sustentável dentro da economia circular. Outro artigo excluído nesse passo é o de Nascimento *et al* [5] pois os autores abordam a economia circular no contexto da manufatura e não da construção civil.

Embora a redução de carbono seja englobada pela economia circular Hao *et al* [12] buscam desenvolver uma abordagem baseada em BIM para quantificação de redução de emissões de carbono em projetos de construção de pré-fabricação, sem pensar em como isso impactaria a economia circular. Assim como a redução de carbono a cadeia de suprimentos também faz parte da economia circular, porém Papadonikolaki *et al*[13] propuseram integrar a cadeia de suprimentos por meio da aplicação de BIM, não objetivando também alcançar a economia circular.

3. Resultados

Da Revisão Sistemática da Literatura realizada, analisando os artigos publicados entre os anos de 2011 a 2021, destaca-se maior quantidade de publicação no ano de 2020. O desenvolvimento evolutivo das publicações em relação ao ano está ilustrado no gráfico 1. Observa-se que o aumento de publicações no ano de 2020 ocorreu devido ao projeto BAMB (buildings as materials banks).

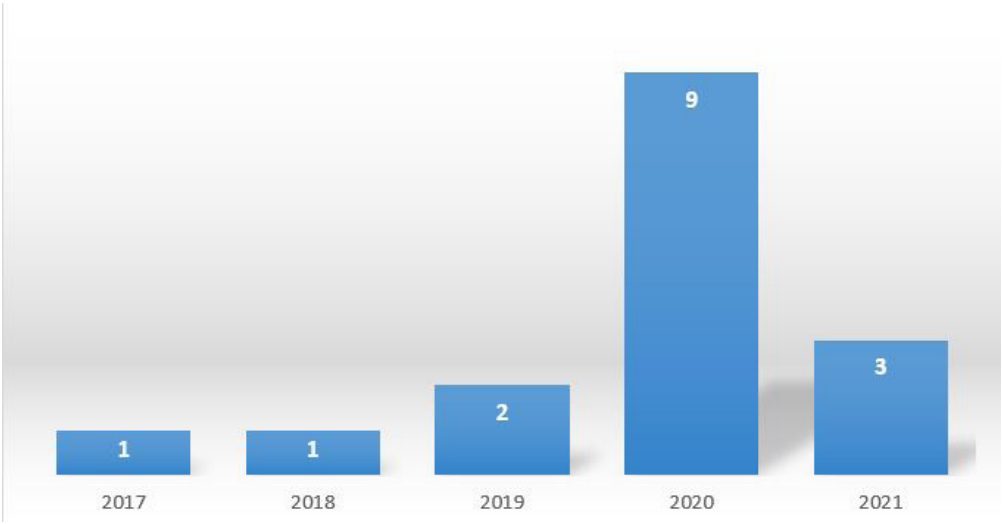


Gráfico 1
Ano de publicação.

A distribuição dos artigos permite identificar o conjunto de revistas mais relevantes para o tema. Os 16 artigos estão distribuídos entre 12 diferentes revistas. Apenas duas revistas tiveram mais de uma publicação, totalizando três publicações cada, como pode ser visto no gráfico 2.

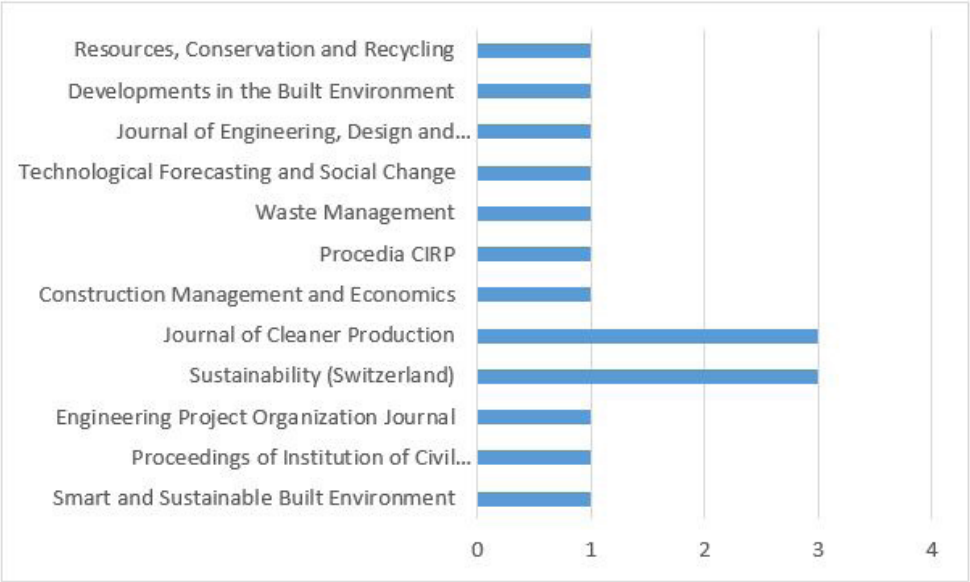


Gráfico 2
Distribuição dos artigos selecionados.

Dos artigos selecionados foi analisado o país dos autores, sendo o país com maior representatividade o Reino Unido com 44% dos artigos, seguido de Holanda e Estados Unidos com 13%, enquanto que Gana, Áustria, Luxemburgo, Austrália e França com 6% cada. A representatividade dos países europeus pode ser compreendida em função do projeto BAMB também, por ter sido uma ação de inovação dentro do programa Horizonte 2020.

Outro ponto que pode ser destacado é a pouca quantidade de artigos que abordam o assunto de BIM e economia circular. Delgado e Oyedele [2] tiveram a mesma percepção e traçaram um gráfico da co-ocorrência de ambos os termos como uma maneira de visualizar os poucos esforços. A figura 2 fornece uma indicação de quão relacionados estão os esforços de pesquisa entre o BIM e a economia circular. Quanto maior o número de co-ocorrências, mais próximo elas estão localizadas no mapa. O tamanho do círculo indica o número de ocorrências de cada termo no título, resumo e palavras-chave dos artigos [2].

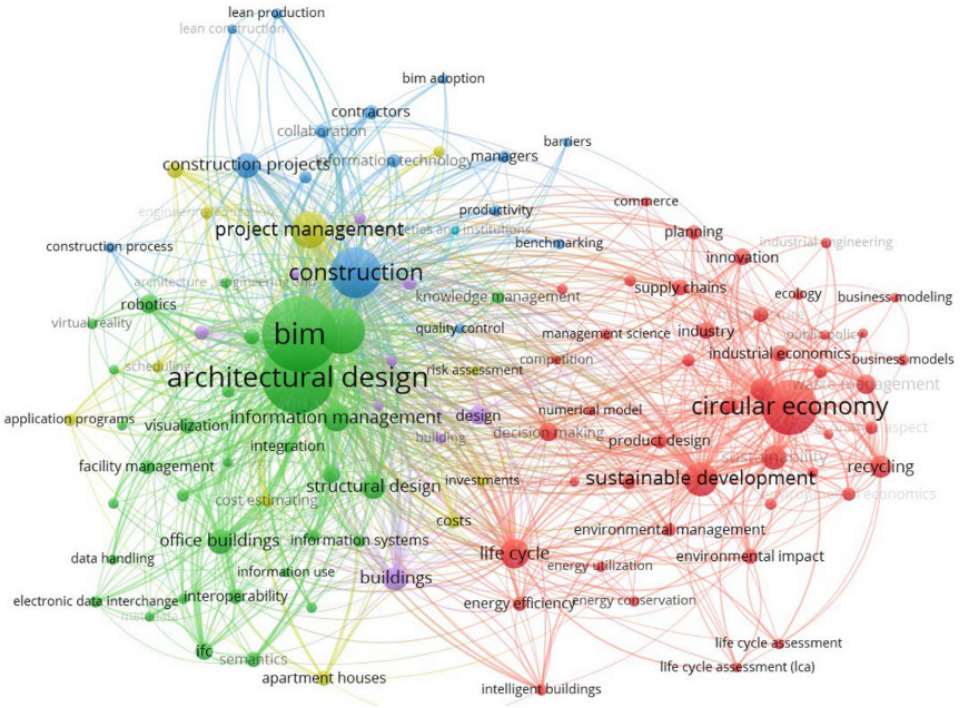


Figura 2
Mapeamento da co-ocorrência dos termos. Fonte [2].

A partir da figura percebe-se que os dois círculos mais proeminentes são o BIM e a economia circular. O círculo da economia circular está mais afastado dos demais círculos com certa relevância em que possuem uma estreita relação com o BIM, como indica o mapeamento.

4. Discussão

Usos de BIM existentes e novos foram identificados em Charef e Emmitt [14] que possuem potencial para apoiar uma implementação da abordagem da economia circular. Os autores chegaram a um total de 38 usos do BIM e acreditam que todos os usos têm algum impacto ou potencial para alcançar a economia circular.

Os usos do BIM por mais que possuam diferentes finalidades e objetivos possíveis, podem ser enquadrados em cinco grandes áreas: Reunir (administrar, coletar, gerenciar, adquirir); Gerar (criar, autor, modelo); Analisar (examinar, avaliar); Comunicar (trocar); e, Realizar (implementar, executar, desempenhar) [14].

Com o intuito de analisar os outros artigos selecionados, os usos do BIM das pesquisas foram classificados de acordo com as cinco áreas destacadas por Charef e Emmitt [14]. A tabela 2 demonstra a classificação de acordo com as áreas e seu uso especifico.

Tabela 2
Usos do BIM.

Autores	Reunir	Gerar	Analisar	Comunicar	Realizar
[1]	Entrega de infraestrutura inteligente				
[15]		Formato de informação no modelo			
[3]				Estabelece o fluxo da informação da MP (cadeia de valor)	
[4]				Base de dados de informações sobre os materiais e componentes incorporados num edificio	
[6]			Integrar a análise de desempenho de fim de vida no projeto de construção e no processo de construção.		
[16]			Analise do modelo para planejar a desconstrução		
[17]					Gerenciamento eficaz das informações do ciclo de vida dos componentes do edifício.
[18]		Modelo com nivel de detalhe alto			
[19]			Utilizar o modelo para prever quais e quantos materiais devem ser recuperados de uma desconstrução		
[20]			Ferramenta tecnológica para facilitar a tomada de decisão		
[21]			Visualizaçãodo desempenho do desperdicio de construção para planejamento		
[22]		Modelo digital incluindo o fim de vida sustentavel			
[2]	Abordagem de modelagem de informações de construção durante a fase operacional				

[23]		Ferramenta de comunicação para a entrega de projetos de construção com eficiência de resíduos.
[8]	Estimar o desempenho de salvamento de edifícios desde a fase de projeto	

Dentro das áreas destacadas para uso do BIM, analisar – examinar os elementos da instalação para obter uma melhor compreensão dela – foi a opção com mais trabalhos enquadrados totalizando 5, seguida por gerar – criar ou gerar informações sobre a instalação – com 4 trabalhos. Na sequência com 3 trabalhos enquadrados comunicar – apresentar informações sobre uma instalação em um método em que possa ser compartilhada ou trocada – seguida de reunir – coletar ou selecionar informações da instalação – com 2 artigos e por fim com apenas 1 artigo realizar – fazer ou controlar um elemento físico usando informações de instalação.

5. Conclusão

A partir da leitura e análise dos artigos pode-se deduzir que a utilização do BIM dá suporte para um melhor gerenciamento e planejamento para a adoção da economia circular. Os estudos demonstraram que para alguns usos alcançarem o objetivo proposto era necessário que outros usos tivessem sido alcançados, como quando um modelo for utilizado para uma análise, para que esta dê certo o modelo deve ter gerado todas as informações corretamente. Uma limitação da abordagem proposta é sua dependência da precisão dos registros de compra e do BIM fornecidos pelas equipes de gerenciamento de projetos [21].

Até o presente estudo os aspectos da economia circular não foram considerados nos modelos de dados padrão existentes para a indústria da construção. Delgado e Oyedele [2] expõem que é essencial para o sucesso da economia circular o desenvolvimento de modelos de dados padrão que facilitem a colaboração contínua entre as partes, o que requer que todo um setor adote seus princípios. Isso porque as informações em BIM provenientes de todas as partes formam o processo de geração e mapeamento de todas as informações das fases do ciclo de vida de uma edificação.

Todas as áreas de usos do BIM foram abordadas e com o desenvolvimento de mais pesquisas sobre economia circular e BIM, poderão ocorrer ligações entre as áreas. Uma ligação será importante ao passo que ocorrer a mudança da economia linear para a circular. Charef e Emmitt [14] explicam que o ciclo de vida do ativo precisará ser considerado como um sistema holístico e a implementação BIM estendida ao longo de todo o ciclo de vida do edifício, desde o projeto até o gerenciamento de fim de vida.

Apesar de poucos trabalhos abordarem a desconstrução, o tema é importante para apoiar a abordagem de economia circular na infraestrutura de recuperação pois ao mudar da demolição para a desconstrução, o volume de materiais recuperados utilizáveis deve aumentar. Ao adotar a desconstrução ou desmontagem deverá ser entregue um projeto com um registro digital "Como desconstruído" [14].

Por fim, a economia circular é vista em termos de reciclagem, mas mais valor pode ser obtido de edifícios e componentes físicos por sua reutilização, auxiliada por manejo e remanufatura, para garantir a capacidade de desempenho ideal [17]. Foi possível identificar pela pesquisa que a economia circular oferece uma nova metodologia econômica que reintroduz os resíduos como matéria prima, não se limitando apenas ao conceito de reuso e reciclagem, como é demonstrado na figura 3.

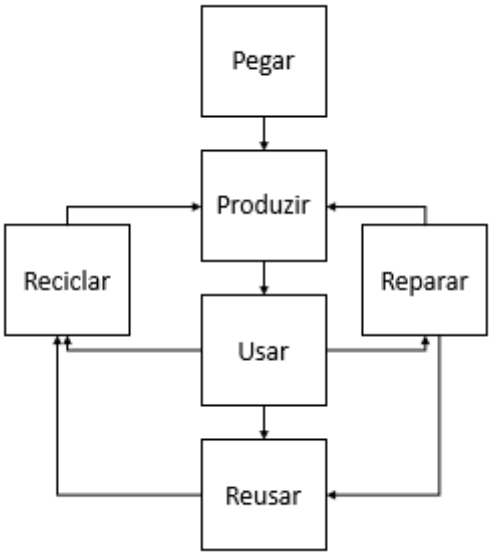


Figura 3
Economia circular.
Traduzido de [14].

A literatura traz o BIM como um recurso para transformar os processos de construção [20]. O presente estudo averiguou que esta afirmação também se enquadra no contexto da economia circular, por possibilitar o monitoramento e controle necessário dos conceitos englobados (reciclagem de circuito fechado, ciclos de material de circuito fechado, cadeia de abastecimento de circuito fechado, projeto de resíduos, design com materiais recuperados), alcançando todos os pontos da economia circular como colocados na figura 3.

Referências

[1] LAMPTEY, Theophilus; OWUSU-MANU, De-Graft; ACHEAMPONG, Alex; ADESI, Michael; GHANSAH, Frank Ato. A framework for the adoption of green business models in the Ghanaian construction industry. Smart And Sustainable Built Environment, [S.L.], v. --, n. --, pp. 1-18, 3 dez. 2020. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-08-2020-0130.

[2] DELGADO, Juan Manuel Davila; OYEDELE, Lukumon O. BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy. Journal Of Engineering, Design And Technology, [S.L.], v. 18, n. 5, pp. 1269-1285, 13 abr. 2020. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/jedt-10-2019-0284.

[3] KOVACIC, Iva; HONIC, Meliha; SRECKOVIC, Marijana. Digital Platform for Circular Economy in AEC Industry. Engineering Project Organization Journal, [S.L.], v. 9, n. 1, pp. 1-16, 12 nov. 2020. Engineering Project Organization Society. http://dx.doi.org/10.25219/epoj.2020.00107.

[4] JAYASINGHE, Laddu Bhagya; WALDMANN, Daniele. Development of a BIM-Based Web Tool as a Material and Component Bank for a Sustainable Construction Industry. Sustainability, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 1766, 27 fev. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su12051766.

[5] NASCIMENTO, Daniel Luiz Mattos; ALENCASTRO, Viviam; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves; CAIADO, Rodrigo Goyannes Gusmão; GARZA-REYES, Jose Arturo; ROCHA-LONA, Luis; TORTORELLA, Guilherme. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. Journal Of Manufacturing Technology Management, [S.L.], v. 30, n. 3, pp. 607--627, 15 abr. 2019. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/jmtm-03-2018-0071.

[6] AKANBI, Lukman A.; OYEDELE, Lukumon O.; OMOTESO, Kamil; BILAL, Muhammad; AKINADE, Olugbenga O.; AJAYI, Anuoluwapo O.; DELGADO, Juan Manuel Davila; OWOLABI, Hakeem A.. Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 223, pp. 386-396, jun. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.172.

[7] XING, Ke; KIM, Ki Pyung; NESS, David. Cloud-BIM Enabled Cyber-Physical Data and Service Platforms for Building Component Reuse. Sustainability, [S.L.], v. 12, n. 24, p. 10329, 10 dez. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su122410329.

[8] AKANBI, Lukman A.; OYEDELE, Lukumon O.; AKINADE, Olugbenga O.; AJAYI, Anuoluwapo O.; DELGADO, Manuel Davila; BILAL, Muhammad; BELLO, Sururah A.. Salvaging building materials in a circular economy: a bim-based whole-life performance estimator. Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 129, pp. 175-186, fev. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026.

[9] SUCCAR, Bilal. Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, Automation in Construction. v. 18, n. 3, pp. 357-375. 2009.

[10] MINUNNO, Roberto; O'GRADY, Timothy; MORRISON, Gregory; GRUNER, Richard; COLLING, Michael. Strategies for Applying the Circular Economy to Prefab-

ricated Buildings. Buildings, [S.L.], v. 8, n. 9, p. 125, 6 set. 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/buildings8090125.

[11] TURNER, Chris; OYEKAN, John; STERGIOULAS, Lampros K.. Distributed Manufacturing: a new digital framework for sustainable modular construction. Sustainability, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 1515, 1 fev. 2021. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su13031515.

[12] HAO, Jian Li; CHENG, Baoquan; LU, Weisheng; XU, Jun; WANG, Junjie; BU, Weicheng; GUO, Zhiping. Carbon emission reduction in prefabrication construction during materialization stage: a bim-based life-cycle assessment approach. Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 723, p. 137870, jun. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137870.

[13] PAPADONIKOLAKI, Eleni; VRIJHOEF, Ruben; WAMELINK, Hans. Supply chain integration with BIM: a graph-based model. Structural Survey, [S.L.], v. 33, n. 3, pp. 257-277, 13 jul. 2015. Emerald. http://dx.doi.org/10.1108/ss-01-2015-0001.

[14] CHAREF, Rabia; EMMITT, Stephen. Uses of building information modelling for overcoming barriers to a circular economy. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 285, p. 124854, fev. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124854.

[15] LUSCUERE, Lars Marten. Materials Passports: optimising value recovery from materials. Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers – Waste And Resource Management, [S.L.], v. 170, n. 1, pp. 25-28, fev. 2017. Thomas Telford Ltd.. http://dx.doi.org/10.1680/jwarm.16.00016.

[16] BERG, Marc van Den; VOORDIJK, Hans; ADRIAANSE, Arjen. BIM uses for deconstruction: an activity-theoretical perspective on reorganising end-of-life practices. Construction Management And Economics, [S.L.], v. 39, n. 4, pp. 323-339, 8 fev. 2021. Informa UK Limited. http://dx.doi.org/10.1080/01446193.2021.1876894.

[17] XING, Ke; KIM, Ki Pyung; NESS, David. Cloud-BIM Enabled Cyber-Physical Data and Service Platforms for Building Component Reuse. Sustainability, [S.L.], v. 12, n. 24, p. 10329, 10 dez. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su122410329.

[18] BERTIN, Ingrid; MESNIL, Romain; JAEGER, Jean-Marc; FERAILLE, Adélaïde; ROY, Robert Le. A BIM-Based Framework and Databank for Reusing Load-Bearing Structural Elements. Sustainability, [S.L.], v. 12, n. 8, p. 3147, 14 abr. 2020. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/su12083147.

[19] COPELAND, Samuel; BILEC, Melissa. Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy. Procedia Cirp, [S.L.], v. 90, pp. 143-147, 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.122.

[20] AKINADE, Olugbenga O.; OYEDELE, Lukumon O. Integrating construction supply chains within a circular economy: an anfis-based waste analytics system (a-was). Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 229, pp. 863-873, ago. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.232.

[21] GUERRA, Beatriz C.; LEITE, Fernanda; FAUST, Kasey M.. 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: case studies on concrete and drywall waste streams. Waste Management, [S.L.], v. 116, pp. 79-90, out. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.035.

[22] CHAREF, Rabia; GANJIAN, Eshmaiel; EMMITT, Stephen. Socio-economic and environmental barriers for a holistic asset lifecycle approach to achieve circular economy: a pattern-matching method. Technological Forecasting And Social Change, [S.L.], v. 170, p. 120798, set. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120798.

[23] GANIYU, Sikiru Abiodun; OYEDELE, Lukumon O.; AKINADE, Olugbenga; OWOLABI, Hakeem; AKANBI, Lukman; GBADAMOSI, Abdulqayum. BIM competencies for delivering waste-efficient building projects in a circular economy. Developments In The Built Environment, [S.L.], v. 4, p. 100036, nov. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100036.

Sistemas de classificação de informação da construção adaptados à sustentabilidade: Experiência internacional relevante

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.54

Rodrigo Lima[1], **Filipa Salvado**[1],
Maria João Falcão Silva[1], **Paula Couto**[1]

[1] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa,*
ID ORCID 0000-0003-4586-4323 (FS), 0000-0002-3723-0948 (MJFS),
0000-0002-2663-3565 (PC), 0000-0003-4236-8914 (RTL)

Resumo

Na sequência da complexidade crescente das novas edificações e do desenvolvimento constante da metodologia *Building Information Modeling* (BIM), o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) enfrenta o desafio emergente de gerir toda a informação necessária para o cumprimento dos respetivos requisitos básicos. Para a gestão da informação, salienta-se a importância da utilização de Sistemas de Classificação da Informação da Construção (*Construction Information Classification Systems*, CICS) normalizados. Acresce a necessidade de dar resposta ao desafio global para racionalizar a utilização dos recursos naturais, alinhado com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ONS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Sendo o setor AECO dos mais exigentes em termos da utilização desses recursos, urge desenvolver modelos de produção que envolvam a reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais e produtos, alargando assim o seu ciclo de vida.

O Projeto SECClasS apresenta uma solução que unifica estes desafios, propondo desenvolver um CICS nacional otimizado para a sustentabilidade, assente nos princípios da Economia Circular, através da utilização de ferramentas digitais, que ajudem e promovam a seleção e gestão criteriosa de materiais, com o objetivo final de um menor impacto ambiental.

O presente artigo analisa os pressupostos para o desenvolvimento de um CICS nacional que utiliza como base sistemas internacionais já implementados e normas internacionais já estabelecidas, bem como o Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia. O sistema proposto tem como objetivo agilizar os processos de tomada de decisão no setor AECO, reduzindo custos e prazos e promovendo a sustentabilidade.

1. Introdução

No âmbito da conceção e planeamento das construções, a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) impôs novos desafios ao setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), reestruturando a forma de projetar e planear a construção. A informação do projeto, antes transmitida através elementos gráficos, em duas dimensões, e com instruções em forma de texto, passa, através dos modelos tridimensionais, a conter os dados que permitem simulações virtuais diversas como: comportamento dos edifícios, extração de quantidades, impactos ambientais, custos e prazos.

A utilização de objetos paramétricos nos modelos tridimensionais da metodologia BIM permite o suporte às simulações diversas que aumentam a previsibilidade e reduzem os riscos dos projetos de engenharia. A informação contida nestes objetos faz com que se tenha um grande acréscimo na quantidade de dados, sendo necessarias ferramentas que auxiliem na sua gestão.

Com este objetivo, são desenvolvidos os Sistemas de Classificação da Informação da Construção (*Construction Information Classification Systems*, CICS) que, se anteriormente eram úteis no tratamento, organização e recuperação da informação, com as novas tecnologias, passam a ser fundamentais para a gestão do elevado volume de dados. A forma integrada de partilha desta informação é também um benefício do BIM, e esta partilha apoia-se nos CICS para melhorar a comunicação entre os intervenientes do processo construtivo e operacional, de forma a garantir uma linguagem uniforme durante todo o ciclo de vida das construções, normalizando-a através de códigos reconhecidos por intervenientes humanos ou por máquinas [1].

Neste sentido, o Projeto SECClasS pretende apresentar uma solução que atenda às necessidades e peculiaridades do setor AECO português, propondo um CICS nacional otimizado para a sustentabilidade, assente nos princípios da Economia Circular, com base em experiências internacionais no desenvolvimento dos seus próprios sistemas e adaptando-os aos diversos tipos de obras e materiais tipicamente portugueses.

O trabalho apresentado tem por objetivo analisar os principais sistemas de classificação existentes e expor os seus conceitos mais relevantes. Pretende-se ainda apresentar os conceitos importantes que servem como base para a estrutura normalizada dos CICS, bem como os conceitos sugeridos pela comunidade europeia para uma economia circular. Finalmente, propõe-se a escolha de um dos sistemas internacionais como base de desenvolvimento para o CICS nacional.

2. Conceitos, utilização e normalização dos CICS

Os sistemas de classificação da informação para o setor da construção surgiram no século XX a fim de sanar algumas necessidades do setor em organizar-se de forma racional, facilitar oarmazenamento e a recuperação da informação e ainda para a troca da informação relevante do setor. Na Europa, o Reino Unidos desenvolveu

em 1976, pelo ICE (*Institution of Civil Engineers*), o sistema CESMM (*Civil Engineering Standard Method of Measurement),* vocacionado para o levantamento detalhado das quantidades de trabalhos, em obras de engenharia civil. A sua grande aplicabilidade às obras de engenharia civil levou a que fosse atualizado três vezes, sendo a última versão do CESMM publicada em 1992 [2].

Um CICS configura-se num conjunto de elementos interdependentes que formam um todo organizado. Tais sistemas podem ser desenvolvidos de acordo com a necessidade de cada país, região ou mesmo de uma empresa, de forma a atender aos seus anseios em organizar-se, bem como podem seguir padrões internacionais de classificação [1].

A classificação e a harmonização da informação através de CICS têm como principais objetivos tornar o trabalho colaborativo mais eficaz, mesmo quando realizado à distância ou em formatos distintos, assegurar a coerência e a comparabilidade e possibilitar que os diversos intervenientes no processo de construção sejam menos dependentes das debilidades de terceiros. De forma geral, classifica-se com o objetivo de encontrar a melhor ordem possível, a fim de, após a classificação de determinado elemento, ser mais fácil encontrá-lo dentro de um determinado conjunto. Apesar de não haver uma forma absoluta de classificar, o mais correto seria que todos os parceiros comerciais usassem uma linguagem comum para agrupar produtos [2].

Segundo Nunes, 2016 [1], a classificação consiste na distribuição de objetos em classes, sendo que uma classe é composta por um conjunto de objetos com determinadas particularidades em comum, relação lógica ou afinidade, que possibilita a sua distinção de outros objetos. Na Figura 1, apresenta-se um exemplo de estrutura hierárquica e as diferentes classes que compõe um sistema de classificação genérico com três níveis de detalhe.

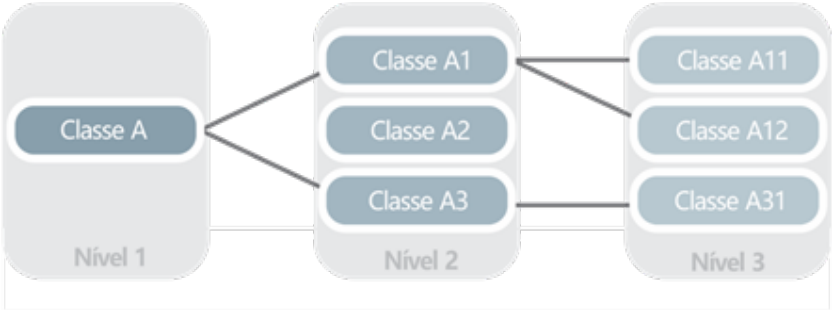


Figura 1
Estrutura de sistema de classificação com três níveis de detalhe.

Existem diversos tipos de classificação que podem ser descritos e que se associam consoante os objetivos, o âmbito e as particularidades do sistema a desenvolver. As classificações podem estar divididas em [3]: i) Especializada, quando se pretende focar um tema em particular; ii) Geral, quando se pretende abranger um universo da informação; iii) Enumerativa, quando se procura listar todas as subclasses, incluindo as compostas, que se relacionam com a classe principal; iv) por Facetas ou Hierárquica, criam-se subclasses a partir de um princípio simples e particular de divisão

da classe principal e definem-se classes compostas por associação das subclasses; v) Documental, quando se tem como principal objetivo a classificação de documentos ou outros tipos de informação de modo a facilitar a sua organização, localização e armazenamento; e vi) Analítica (taxonomia ou científica), quando pretende-se sistematizar informação e fornecer uma base para a sua explicação e compreensão [1].

2.1. Classificação proposta na ISO 12006-2:2015

A ISO (*International Organization for Standardization*) tem produzido normas com vista a uniformizar a classificação e troca de informação, como é o caso da ISO 12006-2:2015 e da ISO 12006-3:2006, cujo objetivo é orientar a estruturação de sistemas de classificação. A estrutura base proposta pela ISO pretende dotar os sistemas em desenvolvimento da abrangência necessária para dar resposta à crescente dimensão e complexidade dos trabalhos de construção. Com efeito, um sistema de classificação concebido de acordo com a ISO 12006-2:2015 deve abranger todo o ciclo de vida do empreendimento, contemplando grande variedade de trabalhos de construção [1].

Contudo, não há recomendação específica e fechada sobre o modelo de estruturação a ser adotado para cada situação, o que permite ao utilizador optar por aquele que melhor se adapte ao sistema que deseja desenvolver para classificar. Todavia a norma ainda possui uma outra função no desenvolvimento de sistemas de classificação, isto é, devido à existência de vários CICS, o intercâmbio de informação entre os mesmos tende a ser facilitado caso estes sejam desenvolvidos conforme as orientações propostas. Com base nessa função, são recomendadas tabelas pela ISO 12006-2:2015, que podem ser utilizadas em combinação ou separadamente de acordo com a necessidade do utilizador [4].

2.2. Classificação proposta na série ISO/IEC 81346

As normas da série ISO/IEC 81346 constituem a mais recente série de normas para a identificação de componentes pertencentes a qualquer sistema técnico. As normas tratam dos sistemas técnicos no sentido mais amplo da palavra, incluindo a construção (estruturas e instalações técnicas), sistemas industriais, bem como máquinas em geral, e, além disso, são de considerável importância para a base de documentação da diretiva europeia sobre máquinas e equipamentos, pois esta documentação vincula a marcação de componentes e a documentação associada [5].

Os sistemas baseados na série ISO/IEC 81346 são estruturados de forma diferente da ISO 12006-2:2015. Assim, contam com um grupo menor de Sistemas Funcionais, Sistemas Técnicos e Componentes – itens correspondentes aproximadamente aos Elementos, Sistemas e Produtos dos CICS baseados na ISO 12006-2 – e diferencia-os atribuindo diferentes propriedades, por exemplo, uma porta é sempre designada como porta, mas subtipos são definidos pelas suas propriedades, o que é refletido na designação ou notação de classificação. As notações adicionais são anexadas à notação inicial/raiz, uma vez que o item é progressivamente definido ao longo do

processo de conceção e documentação. Isto resulta numa designação estável e reconhecível ao longo da vida de um projeto [6].

Esta norma é utilizada como base para a estruturação das classificações dos sistemas e componentes em CICS desenvolvidos mais recentemente por países do Norte da Europa como Suécia, Dinamarca e Estónia, para além de pormenorizar o sistema de códigos de referência destes sistemas, denominado RDS (*Reference Designation System*).

3. Os CICS e a Metodologia BIM

Com bases nos conceitos e objetivos do BIM, alguns sistemas da classificação foram desenvolvidos e adaptados a esta metodologia. O propósito é gerir toda a informação produzida no processo que, através de objetos paramétricos (Figura 2), baseia-se numa representação virtual tridimensional do empreendimento, onde é integrada a informação do projeto, relativa a toda a sua vida, de modo que os seus resultados e ferramentas tragam variadas vantagens para o setor AECO, entre as quais a transparência de todo o processo [1].

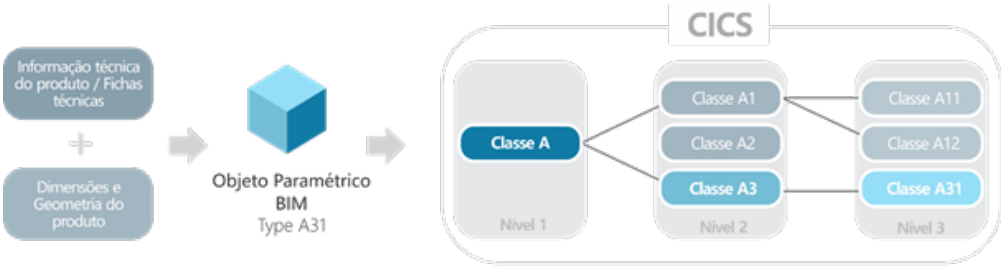


Figura 2
Estruturação da informação e classificação nos CICS com três níveis de detalhe.

A forma de introdução da informação nos modelos BIM é feita através de objetos paramétricos que são responsáveis por integrar informação valiosa sobre os processos de produção, comunicação e análise dos modelos tridimensionais digitais, assumindo então particular importância na criação e no desenvolvimento de modelos que permitem representar virtualmente, de forma equivalente, o produto real. De facto, a correta inserção de informação no objeto é fundamental para a melhor utilização da metodologia BIM. Para tal, existe a necessidade de adotar métodos e estratégias que possibilitem a correta definição e implementação destes elementos (Figura 3). É o caso dos CICS, que orientam e organizam a forma como é disponibilizada a informação aos objetos paramétricos [1].

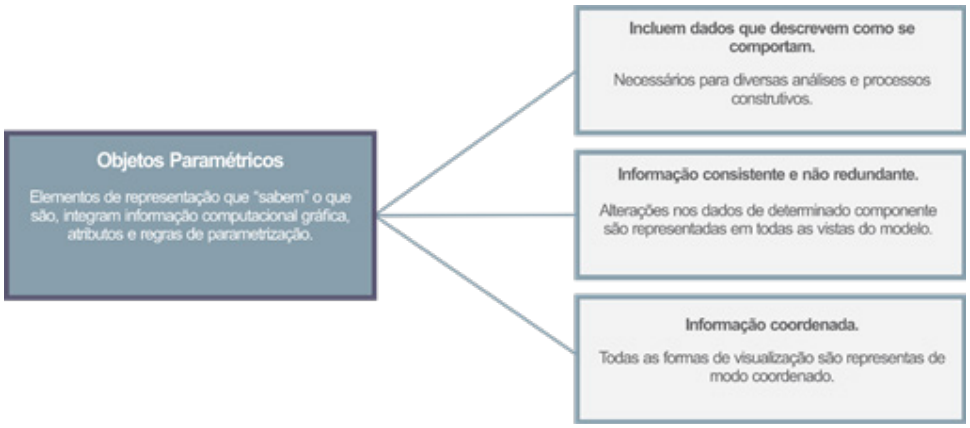


Figura 3
Características dos modelos BIM e sua relação com os objetos paramétricos [7].

O BIM engloba informação sobre os empreendimentos durante todo o seu ciclo de vida, ao nível de projeto, planeamento, construção e manutenção. A classificação e estruturação dessa informação possibilita, dessa forma, a integração entre as diferentes etapas e especialidades do sistema construtivo, diminuindo erros e otimizando o processo. A tecnologia em que se baseia o BIM permite que o modelo gerado contenha informação precisa e detalhada sobre a geometria, além de um conjunto de dados relativos aos procedimentos construtivos, às tecnologias utilizadas e ao processo de aquisição, necessários para realizar o empreendimento [7]. Esta metodologia pressupõe uma completa alteração do fluxo da informação trocada entre os intervenientes relativamente ao fluxo de trabalho tradicional, que passa a ser centralizada no modelo BIM, evitando a eventual perda de informação. Assim, os CICS tornam-se imprescindíveis como ferramentas de gestão da informação.

4. Sistemas de Classificação Internacionais

Este trabalho fez uma análise de cinco sistemas de classificação da informação da construção utilizados na Europa e na América do Norte. É utilizado como base o estudo desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica Checa em Praga, na República Checa, em associação com a Agência Checa para a Normalização (PS03). Esta comparação inclui 18 CICS internacionais através de critérios pré-estabelecidos onde são avaliados os detalhes horizontais (tratam de classificações mais complexas e referem-se ao âmbito do CICS), os detalhes verticais (consistem na verificação das classificações básicas sugeridas por meio de tabelas pela ISO 12006-2:2015), os detalhes cronológicos (classificação das fases de um projeto de construção e o estado das estruturas), as principais caraterísticas (propriedades ontológicas, propriedades funcionais e propriedades de licença) e a conformidade com outros sistemas (compatibilidades com sistemas de certificação BREEAM, LEED, etc., e com *software* BIM, nomeadamente Revit, ArchiCAD, Tekla e outros).

Foi criado um "sistema ideal de classificação da informação da construção" que pode ser utilizado como base de comparação entre os CICS selecionados. As diferentes características dos sistemas não permitem uma comparação tão direta entre eles, pelo que o método é adaptado para evitar uma distorção dos resultados finais.

Os resultados globais são apresentados na Tabela 1, com as respetivas pontuações obtidas por cada CICS. Os valores apresentados indicam quão próximos estão os melhores classificados do ideal imaginário CICS, conforme definido com base em critérios e pesos aprovados para cada aspeto. A tabela é classificada por ordem decrescente desde o melhor CICS até ao pior e aponta que os sistemas CoClass (Suécia), CCS (Dinamarca) e UniClass2015 (Reino Unido) como os mais bem avaliados.

Tabela 1
Resultados da classificação dos CICS comparados [8].

	Intervalo	Média	Ordem Classificação
CoClass	80 – 90%	84,85%	1
CCS	66 – 82%	74,08%	2
UniClass2015	67 – 77%	72,01%	3
TFM a NS6451	59 – 70%	64,30%	4
CI/SfB	52 – 75%	63,49%	5
KKS	48 – 74%	61,24%	6
TALO 2000	53 – 69%	60,90%	7
OmniClass	53 – 68%	60,49%	8
Natspec Worksection	47 – 57%	52,05%	9
Uniformat / Master Format	42 – 62%	52,00%	10
SKP	39 – 56%	47,65%	11
SNIM	44 – 51%	47,43%	12
TSKP	45 – 49%	46,99%	13
ASA QS Elemental Class	37 – 54%	45,28%	14
RTS BIM	30 – 57%	43,69%	15
CZ-CC	32 – 53%	42,75%	16
BIM7AA	34 – 48%	41,12%	17
KSO (JKSO)	24%	23,83%	18

Para uma anál ise mais abrangente, o Projeto SECClasS decidiu incluir o OmniClass (América do Norte) e o CCI (Estónia, Suécia, Noruega, dentre outros) na sua investigação para um CICS base. Foi tido em consideração o facto do OmniClass ser um CICS consolidado mundialmente e o CCI ter vantagens da participação no desenvolvimento de um sistema novo que utiliza conceitos mais atuais como a série ISO/IEC 81346.

Para além do estudo checo, o Projeto SECClasS teve em consideração aspetos que são fundamentais para o sector AECO português e que visam facilitar a implementação e difusão do sistema em Portugal. Foi então analisada informação específica para a escolha de um novo sistema base: i) informação básica; ii) estrutura, tabelas e conformidade com a ISO 12006-2 e a ISO/IEC 81346; iii) designação de códigos de referência; iv) licença e língua da documentação do sistema; v) atualizações e expansibilidade do sistema; vi) componente de sustentabilidade; e vii) digitalização do sistema e interligação com *software* de modelação.

4.1. UniClass2015

O UniClass2015 é o CICS desenvolvido pelo Reino Unido sob a responsabilidade da *Nation Building Specification* (NBS) e apresenta grandes vantagens. A sua estrutura, baseada nos conceitos da ISO 12006-2, é ampla, hierárquica e as suas tabelas

estabelecem relações umas com as outras. O complemento da sua terminologia e base de dados de codificação é flexível, permitindo a introdução de novos elementos. O sistema é adaptado ao processo construtivo do mercado europeu, facilitando a adaptação ao sector português AECO. As suas atualizações são sistemáticas e a documentação está disponível em inglês. A NBS também fornece ferramentas que permitem a interligação com o *software* de modelação BIM. Para além disso, o Projeto SECClasS foi autorizado pela NBS a traduzir e utilizar o UniClass2015 como o sistema básico para um CICS português.

4.2. CoClass

O CoClass foi criado na Suécia, entre 2017 e 2018, em resposta à digitalização da indústria da construção e à sua ligação ao BIM. Trata-se de um CICS complexo e a sua utilização está principalmente ligada ao país de origem. O CoClass está estruturado de forma diferente dos "CICS clássicos", pelo que traz diferenças em relação ao UniClass2015 e ao OmniClass. A sua estrutura geral baseia-se na norma ISO 12006-2, mas utiliza a série ISO 81346 para classificações de sistemas funcionais e técnicos e de componentes. O CICS propõe ter uma linguagem digital legível por humanos e máquinas, que utilizam o sistema de codificação RDS para codificar referências dos produtos. O CoClass tem algumas desvantagens: a documentação está parcialmente disponível em inglês e a maior parte em sueco, para além de não ser de fonte totalmente aberta, tendo custos de utilização, fornecendo apenas ferramentas básicas e classificações gratuitamente. As suas atualizações são sistemáticas e permitem o desenvolvimento e inserção de novas classificações. O sistema leva em consideração o estado das estruturas, o que traz facilidades para o desenvolvimento da componente sustentável pretendida. Também, quando se analisa a tabela de propriedades, é encontrada informação relativa à durabilidade, durabilidade mecânica, estado do objeto ou ano de reconstrução, de acordo com os dados de registo de propriedade imobiliária. Devido ao acesso limitado ao sistema, nenhuma outra informação pode ser verificada.

4.3. CCS

O CCS (*Cuneco Classification System*) é originário da Dinamarca, sob a responsabilidade da Molio - *Construction Information Centre*, parceiro dinamarquês da *BuildingSmart*. O desenvolvimento começou em 2010, utilizando a série ISO 81346, na versão de 2009. O seu objetivo é assegurar que os dados digitais possam ser claramente trocados entre cadeias de produção, fases e *software*, ajudando assim a aumentar a produtividade da construção. Pretende ainda fornecer uma identidade única para cada parte do edifício e poder ser aplicado a todas as fases do ciclo de vida, desde a conceção até à operação, de modo que todos os agentes que utilizam os mesmos conceitos possam basear-se na informação do outro e classificar a sua informação. A documentação é limitada e está em dinamarquês, tendo apenas as suas tabelas traduzidas para o inglês. O CICS está disponível na versão básica gratuitamente, mas requer uma assinatura anual para a utilização integral dos recursos. O CCS fornece

ferramentas de classificação de objetos, juntamente com um sistema de definição de códigos e designações que pode ser acedido utilizando a ferramenta CCS *Navigate*. A ligação com *software* de modelação, Revit e ArchiCAD, é feita usando *plug-ins*. Não foram encontradas classificações de sustentabilidade.

4.4. OmniClass

O OmniClass é um CICS desenvolvido pelo CSI (Co*nstruction Specification Institute*), CSC (*Construction Specification of Canada*) e AIA (*American Institute of Architects*) para servir o sector AECO dos Estados Unidos da América e Canadá. É considerado um sistema tradicional, como UniClass2015, que tem a sua estrutura baseada na ISO 12006-2. A maior diferença entre eles é o processo de construção em que se baseiam, sendo a OmniClass adaptada aos processos do sector da construção norte--americano, mas ainda compatível com outros sistemas internacionais. Este CICS é um padrão de fonte aberta para qualquer pessoa ou organização, promovendo a troca de informação entre as partes interessadas. O desenvolvimento e atualização têm a participação da indústria, mas verifica-se uma interrupção, sendo a última ocorrida em 2019. O sistema tem uma boa ligação com *software* de modelação BIM, documentação em inglês e, embora o estudo da Agência Checa de Normalização afirme que os termos da licença permitem a edição e distribuição, a informação sobre a sua utilização comercial não pôde ser verificada. Uma grande vantagem do OmniClass, para o Projeto SECClasS, é a tabela de propriedades, capaz de classificar a informação associada à sustentabilidade.

4.5. CCI

A origem do CCI (*Construction Classification International*) surge da necessidade da Estónia desenvolver o seu próprio CICS. Em seguida outras nações vizinhas sentiram a mesma necessidade e, a República Checa, a Finlândia, a Noruega, a Dinamarca e a Suécia, juntaram-se para este objetivo. O grupo de trabalho do CCI decide então utilizar a CoClass e a CCS como base para o novo CICS, acreditando que a implementação de um sistema comum de classificação transfronteiriça melhora a cooperação e os métodos de trabalho digitais, e ainda aumenta a padronização. Como resultado, o núcleo CCI é o elemento comum entre as normas ISO, CCS e CoClass [9]. O sistema utiliza a ISO 12006-2 na sua estrutura geral e a série ISO 81346 para sistemas e componentes. O CICS é desenvolvido na língua inglesa com possíveis traduções para os idiomas dos países que fazem parte do projeto. De acordo com a carta de intenção, assinada pelos paises que o estão a desenvolver, o CCI deve ser gratuito, mas ainda não está disponível um documento formal de licença de utilização, bem como protocolos de atualização. A componente de sustentabilidade também não pode ser verificada devido à fase de desenvolvimento.

5. Conclusões

A metodologia BIM traz, reconhecidamente, vantagens para o sector AECO. As aplicações geram uma grande quantidade de informação necessária para fornecer aos designers um número crescente de possibilidades de simulação e operacionalização de ativos. Os CICS tornam-se uma ferramenta essencial, mas não a única, na gestão desta informação. Assim, e com a procura de um CICS que satisfaça as necessidades do mercado português, o Projeto SECClasS procura desenvolver um sistema baseado em experiências europeias e norte-americana que também acrescente uma componente inexistente ou pouco explorada nos CICS atuais: a sustentabilidade.

Um estudo realizado por investigadores da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica Checa, em Praga, em associação com a Agência Checa de Normalização, foi analisado neste trabalho e as conclusões foram comparadas com os objetivos do Projeto SECClasS, apresentando os seguintes resultados:

1. Nenhum sistema de classificação é perfeito, uma vez que as necessidades de cada grupo de utilizadores são distintas. A flexibilidade e adaptabilidade do sistema é essencial para atender a estas necessidades;
2. O objetivo do CICS deve estar de acordo com a metodologia BIM e ser capaz de aumentar a sustentabilidade e a economia circular, respondendo a utilizações atuais, mas também a utilizações futuras;
3. A correspondência com outros sistemas é essencial, pelo que devem estar em conformidade com as normas internacionais, neste caso a ISO 12006-2;
5. Os CICS mais complexos têm uma maior amplitude de aplicação e desenvolvimento futuros, contudo, o nível de complexidade deve ser sempre avaliado, de modo a não extravazar a interação e perceção humana;
6. Os CICS mais antigos têm vantagens tais como a maior consolidação no mercado, a aceitação por profissionais e a disponibilidade linguística;
7. A futura gestão do CICS, incluindo, mas não se limitando, à sua expansão, atualização e manutenção, são fatores a considerar, e é importante definir uma metodologia clara, incluindo e definindo responsáveis e recursos;
8. A licença de utilização e adaptação, o dinamismo atual da(s) entidade(s) detentora(s) dos direitos na expansão, correção e melhoria e a capacidade de resposta às contribuições externas devem ser investigados e considerados na tomada de decisões para um CICS básico.

Com base nas razões apresentadas, como a existência de uma licença aberta e a autorização para a sua tradução e adaptação, o grau de disseminação e a implementação em bibliotecas de objetos, a escolha do sistema base para o Projeto SECClasS recaiu sobre o sistema UniClass2015, gerido pela NBS. Os passos seguintes são: em primeiro lugar, estabelecer uma metodologia para adaptar e traduzir o sistema para a língua e realidade portuguesas; em segundo lugar, estabelecer como incluir a componente de sustentabilidade. Finalmente, é da maior importância envolver o meio técnico nacional, recolhendo e incorporando o seu *feedback*.

Referências

[1] H. M. Nunes, "Sistema de Classificação de Informação da Construção – Proposta de metodologia orientada para objetos BIM", Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, FCT, Lisbon, Portugal, 2016.

[1] R. M. S. Pereira, "Sistemas de classificação na construção - Síntese comparada de métodos", Tese de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

[1] M. D. Monteiro, "Classificação da Informação da Construção", Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 1998.

[1] R. T. Lima, Rodrigo T. et al. "Sistemas de Classificação da Informação da Construção – Comparação entre as realidades portuguesa e brasileira", Relatório do Projeto P2I, LNEC, Lisbon, Portugal, 2019.

[1] H. Balslev, *DS Handbook 166: A Guide to Reference – Preparation of TAG Numbers, Letters Codes, and interfaces between Systems*. Danish Standards Foundation, Charlottenlund, Dinamarca, 2010.

[1] G. Friborg, "Classification, Identification and BIM", em *ICIS – International Construction Information Society*, Zurique, Switzerland, 2017.

[1] C. M. Eastman et al., *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N. J.: Wiley, 2008.

[1] Agência Checa para a Normalização, "Pesquisa e Comparação dos Sistemas de Classificação dos Elementos de Construção no Contexto do Building Information Modeling (BIM)", Relatório da Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade Técnica Checa em Praga, Praga, República Checa, 2018.

[1] J. Saar, *CCI International* em *Presentation of Estonia Government Agenda*. Ministry of Economic Affairs and Comunications, Estónia, 2019.

[1] H .Balslev, *The Reference Designation System (RDS) – A Common Naming Convention for Systems and Their Elements* em *26th Annual INCOSE International Symposium,* Edinburgo, Escóssia, 2016.

[1] The NBS Website. What is Uniclass 2015? Disponível em: https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-uniclass-2015 [acedido em 17 de Agosto de 2021].

[1] CSI Website. OmniClass: Introduction and User's Guide., p. 29. Disponível em: http://www.omniclass.org/tables/OmniClass_Main_Intro_2006-03-28.pdf [acedido em 21 de Agosto de 2021].

[1] ISO 12006-2:2015 "Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification", International Organization for Standardization (ISO), 2015.

[1] CoClass Website, Svensk Byggtjänst (Swedish Building Centre). Disponível em: https://coclass.byggtjanst.se/ [acedido em 21 de Agosto de 2021].

[1] Molio Website, Construction Information Centre, CCS – Cuneco Classification System Website. Disponível em: https://molio.dk/produkter/digitale-vaerktojer/gratis-vaerktojer/ccs-cuneco-classificationsystem [acedido em 22 de Agosto de 2021].

Livro de atas do Congresso ptBIM 2022, onde se promove um fórum de discussão técnico-científica em língua Portuguesa nas metodologias 'Building Information Modelling' (BIM), envolvendo a participação ativa das comunidades profissional e académica das áreas de Arquitetura e Engenharia. Pretende-se enfatizar os problemas e esforços de implementação na Indústria da Construção e reforçar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.
https://ptbim.org/

UMinho Editora

Universidade do Minho

ISBN 978-989-8974-68-6

9 789898 974686 >