



5º Congresso Português de Building Information Modelling

vol.2

António Aguiar Costa, Miguel Azenha (editores)

Coleção Atas



UMinho Editora



UMinho Editora
Atas

EDITORES

António Aguiar Costa
Miguel Azenha

COMISSÃO EDITORIAL

João Palma
Maria Teresa Ferreira
Pedro Pedroso
Rodrigo Pedral Sampaio

IMAGEM CAPA

Entre_Humos/ Pixabay

DESIGN

Tiago Rodrigues

PAGINAÇÃO

Carlos Sousa | Talento & Tradição, Lda.

EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2024

ISBN digital 978-989-9074-37-8

DOI <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164>

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.

5º Congresso Português de *Building Information Modelling*

Volume 2



Universidade do Minho

pt **BIM**

Comissão organizadora Local

António Aguiar Costa – ULisboa (IST)
Francisco Teixeira Bastos – ULisboa (IST)
Amílcar Arantes (IST)
Diogo Pascoal – ULisboa (IST)
Maria Teresa Ferreira – ULisboa (IST)
Pedro Pedroso – ULisboa (IST)
Rodrigo Sampaio – ULisboa (IST)

Comissão organizadora Nacional

António Aguiar Costa – ULisboa (IST)
Miguel Azenha – UMinho (EEUM)
João Poças Martins – UPorto (FEUP)

Comissão Internacional

Eduardo Toledo Santos – Universidade de São Paulo (Brazil)
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)
Vity Nsalambi – Ordem dos Arquitetos (Angola)
Mandavela Satshishinga – Ordem dos Engenheiros de Angola (Angola)
José Paulo Kai – Univ. Agostinho Neto (Angola)
Vera Cibele Neves Marques – Univ. Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)

Comissão Científica

Presidente da Comissão Científica: Miguel Azenha – Univ. Minho (EEUM)

Alexandra Calheiros – Hilti
Alexandre Marques – Hilti
Alfredo Soeiro – Univ. Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Univ. Lisboa (IST)
António Cabaço – LNEC
António Menezes Leitão – Univ. Lisboa (IST)
Bárbara Rangel – Univ. Porto (FEUP)
Bruno Figueiredo – Univ. Minho (EAUM)
Bruno Matos – Engexpor
Carlos Dias – CD openbim
Diogo Ribeiro – ISEP
Fábio Dinis – BUILT CoLAB

Fernando Pinho – Univ. Nova Lisboa
Francisco Teixeira Bastos – Univ. Lisboa (IST)
Hélder Sousa – Univ. Minho (EEUM)
Hipólito Sousa – Univ. Porto (FEUP)
Hugo Rodrigues – Univ. Aveiro
Inês Caetano – BUILT CoLAB
Inês Flores-Colen – Univ. Lisboa (IST)
Isabel Valente – Univ. Minho (EEUM)
João Pedro Couto – Univ. Minho (EEUM)
João Poças Martins – BUILT CoLAB/Univ. Porto (FEUP)
José António Ribeiro – Mota Engil
José Carlos Lino – Univ. Minho (EEUM)
José Dinis Silvestre – Univ. Lisboa (IST)
José Granja – Univ. Minho (EEUM)
José Miguel Castro – Univ. Porto (FEUP)
José Pedro Sousa – Univ. Porto (FAUP)
José Pinto-Faria – ISEP
José Santos – Univ. Madeira (UMa)
Luís Pedro Bidarra – Norvia
Luís Ribeirinho – TPF
Luís Sanhudo – BUILT CoLAB
Luís Santos – Leica Geosystems
Luisa Gonçalves – Instituto Politécnico de Leiria
Manuel Parente – Univ. Minho (EEUM)
Manuel Tender – ISEP/ISLA
Marcelo Giacaglia – Univ. São Paulo (FAUSP)
Maria João Falcão – LNEC
Marta Campos – MC
Miguel Ferraz – Univ. Porto (FEUP)
Miguel Pires – Casais
Nuno Ramos – Univ. Porto (FEUP)
Patrícia Escórcio – Univ. Madeira (UMa)
Paula Couto – LNEC
Paulo Costeira – Politecnico de Viseu
Pedro Ferreirinha – HCI
Pedro Mêda – Inst. Construção(IC)
Ricardo Almeida – Politécnico de Viseu (IPV)
Ricardo Codinhoto – University of Bath (UB)
Ricardo Costa – Univ. Coimbra (FCTUC)
Ricardo Pereira Santos – ISEP
Ricardo Resende – ISCTE-IUL
Rodrigo Falcão Moreira – GROUND MOTION
Rodrigo Lameiras – Univ. Brasília
Ruben Santos – VK Architects & Engineers
Sebastien Roux – LIMSEN
Trayana Tankova – Univ. Delft (TUDelft)
Vitor Cardoso – BUILT CoLAB

Patrocinadores

Platina



infor
soluções BIM



Ouro



Prata



Patrocinador Institucional



ORDEM DOS
ENGENHEIROS
TÉCNICOS

A edição do congresso de 2024 surge no momento histórico em que o BIM é referido, pela primeira vez, na legislação nacional. Surge inicialmente na Portaria 255/2023 de 7 de agosto de 2023, documento que substituiu a Portaria 701H/2008, e que publica o conteúdo obrigatório do projeto de execução, bem como os procedimentos e normas a adotar na elaboração e faseamento de projetos de obras públicas. Nesta Portaria, o BIM é assumido como uma metodologia de partilha de informação tendencialmente obrigatória, que pode já ser usada para o desenvolvimento do projeto e obra. Por exemplo, as telas finais são já referidas neste documento como *o conjunto de desenhos finais do projeto, em suporte físico ou eletrónico, podendo ser também entregue em modelo de informação da construção (BIM), integrando as retificações e alterações introduzidas no decurso da obra e que traduzem o que foi efetivamente construído.*

Esta Portaria foi o primeiro de vários documentos que impulsionaram um movimento de transição digital do setor. Poucos dias depois, a 28 de agosto, surge a Lei n.º 50/2023, que autoriza o Governo a proceder à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo e ordenamento do território. A digitalização surge neste contexto como pivot da simplificação. Entre as várias considerações apresentadas surge a pretensão de *determinar a obrigatoriedade de se apresentar o projeto de arquitetura e os projetos de especialidades modelados digital e parametricamente e coordenados de acordo com a metodologia Building Information Modelling (BIM), podendo ser estabelecido um projeto-piloto apenas para alguns municípios ou projetos.*

A obrigatoriedade perspetivada pela Lei n.º 50/2023 foi então definitivamente assumida pelo Decreto-Lei n.º 10/2024 de 8 de janeiro que procede à reforma e simplificação dos licenciamentos no âmbito do urbanismo, ordenamento do território e indústria. Aqui, a transição digital e o BIM são apresentados de forma muito mais assertiva, afirmando-se como *obrigatória, a partir de 1 de janeiro de 2030, a apresentação dos projetos de arquitetura, previstos no RJUE, modelados digital e parametricamente de acordo com a metodologia Building Information Modelling (BIM). Assume-se ainda que a partir desta data, a validação do cumprimento do disposto em planos intermunicipais ou municipais pelas câmaras municipais é efetuada de forma automática de acordo com os parâmetros definidos para o efeito.* Este é, assim, um duplo desafio: por um lado a implementação obrigatória do BIM na indústria nacional, por outro o desenvolvimento e a implementação de uma plataforma de validação automática do BIM.

Por sabermos que nos espera um grande desafio, esta é uma edição que nos deixa especialmente entusiasmados. A visão do futuro confirma o caminho que tem vindo a ser traçado e para o qual contribui a comunidade criada em torno deste evento. Urge

consolidar o corpo de conhecimento e alargar as bases de sustentação desta mudança. Nesta edição de 2024, além de reforçar laços já estabelecidos, é importante abrir novas portas para a discussão e a exploração do potencial do BIM, alinhadas com as necessidades e os desafios impostos pela nova legislação.

Agradecemos sinceramente a todos os participantes, autores, membros da comissão organizadora e científica, e patrocinadores, cujo empenho e dedicação são fundamentais para o sucesso deste evento. O ptBIM 2024 não é apenas um testemunho do progresso contínuo na área do BIM, mas também um fórum vital para a reflexão, aprendizagem e partilha de conhecimentos, contribuindo significativamente para a evolução e a adoção do BIM em contextos nacionais e internacionais.

Os Editores

António Aguiar Costa

Miguel Azenha

Prefácio	9
Índice	11
Parte V – Qualidade e Interoperabilidade	17
Criação de um processo de auditoria de modelos BIM visando os usos dos modelos pretendidos <i>Camila Joko, Luis Tomaz, Gabriella Queiroz, Paula Mota</i>	19
Quality check of BIM models using machine learning <i>Iraj Esmaeili, João Poças Martins, José Miguel Castro</i>	29
Análise de qualidade em modelos BIM: Aprimorando a eficiência <i>Leticia Weijh, Alana Stamford, Juliana Scanoni, João Carvalho</i>	39
Verificação da conformidade dos dados de projectos de construção com <i>Linked Data</i> <i>Marin Ljuban, Mathias Bonduel, José Carlos Lino</i>	51
BIM e as regras de medição em Portugal <i>Laura Almeida, Filipe Lima, Sébastien Roux, Miguel Azenha</i>	63
Utilização de famílias BIM de equipamentos hospitalares para tomada de decisão projetual utilizando realidade virtual <i>Luciano Siebra, Rodinei Tomm, Adriana Tonani, Paula Mota, Ricardo Mota, Lorena Moreira</i>	75
Transformação digital na indústria da construção: Capacitando a gestão de dados através de uma plataforma de modelos de dados de produtos (PDT) <i>Mohamad El Sibai, José Granja, Miguel Azenha</i>	87
Apliação e otimização do REVIT e o BIM nas instalações hidrossanitárias <i>Bárbara Norões, Saul Ferreira, José Oliveira</i>	99
Proposta de modelos de dados de produto para túneis ferroviários <i>Mohamad El Sibai, Débora Pinto, Luís Sanhudo, João Poças Martins, Hugo Patrício, José Granja, Miguel Azenha</i>	111
Porquê considerar um serviço de dimensionamento integrado? O nosso percurso para uma integração total de soluções de projeto digital <i>Alexandra Calheiros, Carlos Corbi, Lubos Michalik</i>	123
Enriquecimento de IFC através de dados vinculados ao <i>blockchain</i> <i>Tiago Ricotta, Miguel Azenha</i>	137

IFC – Desafios de exportação e resolução com Python IfcOpenShell <i>Hugo Silva, Luís Ribeirinho, Sofia Henriques</i>	149
Plataforma BIM para criação de regulamentos digitais no âmbito do licenciamento urbanístico <i>Bruno Muniz, José Granja, Miguel Azenha</i>	161
Interoperabilidade BIM-FM: Desenvolvimento de interface customizada para visualização IFC integrada a plataforma de gestão <i>Andressa Oliveira, José Granja, Pedro Machado, Ali Motamedi, Torcato Almeida, Miguel Azenha</i>	173
Orçamentação e estimativa de custos com modelos OpenBIM: Automatização de processos para edifícios <i>Andrea Roldán, José Granja, Ricardo Figueira, Paula Assis</i>	185
Parte VI – Sustentabilidade	197
Otimização e ranking de paredes com base na ACV usando ferramenta BIM <i>Maria Teresa Ferreira, António Aguiar Costa, José Dinis Silvestre</i>	199
Simulação inteligente para redução da pegada de carbono: Integrando BIM, Power BI e custos <i>Thiago Melo, Juliana Scanoni, João Carvalho, Amanda Pereira, Bruna Forte, Alana Stamford</i>	211
Uma ferramenta baseada em BIM para a avaliação expedita do carbono incorporado utilizando o sistema de classificação SECCLasS <i>Sara Parece, Tiago Costa, Tiago Gonçalves, Paulo Rodrigues, Ricardo Resende</i>	223
Avaliação de ciclo de vida e BIM: Apoio à definição de soluções de reabilitação de edifício patrimonial português <i>Gabriel Sugiyama, Hugo Rodrigues, Fernanda Rodrigues</i>	237
Avaliação do ciclo de vida da fase operacional de elementos construtivos com recurso a uma ferramenta BIM <i>Raquel Matos, Hugo Rodrigues, Aníbal Costa, Fernanda Rodrigues</i>	249
Processo automatizado para determinação de indicadores de impacto ambiental em modelos BIM <i>Paula Assis, Ricardo Figueira, Pablo Gilabert</i>	259

BIM to BEM: Limitações e vantagens do modelo de dados gbXML. Estudo preliminar de aplicação no Palácio Monserrate <i>Rita Machete, Ana Paula Falcão, Maria Glória Gomes, Rita Bento</i>	271
Otimização de processos de reabilitação energética de edifícios com base em interoperabilidade BIM-BEM: Caso de uso de painéis pré-fabricados com impressão 3D <i>Evgenii Ermolenko, Bruno Figueiredo, Manuela Almeida, Lucas Lopes, Miguel Azenha</i>	281
Plataforma integrada para a circularidade dos materiais de construção: Prova de conceito no âmbito do projeto RecycleBIM <i>Artur Kuzminykh, Manuel Parente, Vasco Vieira, José Granja, Miguel Azenha</i>	295
Nível de informação necessário para a circularidade dos materiais de construção no âmbito do projeto RecycleBIM <i>Artur Kuzminykh, Achushankar Anil, Vasco Vieira, Manuel Parente, José Granja, Miguel Azenha</i>	307
Parte VII – Implementação e Contratação BIM	319
Maturidade BIM nas prefeituras do Brasil: Uma análise do cenário atual do BIM no setor público municipal <i>Talita Dal’Bosco, Rui M. Lima, Miguel Azenha</i>	321
Transformação digital em um home center do setor de varejo brasileiro com ênfase na implantação e implementação BIM <i>Ítalo Santos, Melquisedeque Fragoso, Arnd Strauß, Kirlia Lima</i>	333
Avaliação da implementação do BIM em PME das regiões interiores de Portugal e do Brasil <i>João Leonardo Favero, Heloiza Piassa Benetti, Paulo Costeira Silva</i>	343
Implementação BIM na EMEL – Projeto piloto para parque de estacionamento – Lisboa <i>Célia Penedo, Késia Alves</i>	355
Estratégia de implementação BIM numa grande empresa – O caso da Geribello Engenharia <i>Giovani Costa, Bianca Languidi, Kesia Silva, Diego Benfca de Oliveira, Larissa Araújo, José Carlos Lino</i>	367
Barreiras à implementação do BIM em Portugal <i>Miguel Lourenço, Amílcar Arantes, António Aguiar Costa</i>	379

Adoção BIM no setor público – O caso do projeto Liga BIM Prefeituras SC <i>Kesia Silva, Rogério Lima, José Carlos Lino</i>	391
Dimensões legislativas da adoção da metodologia BIM em Portugal <i>Vander Escoval, Ana Brandão de Vasconcelos, António Cabaço</i>	401
Uso do BIM em projetos de extensão do IFPB: Diagnóstico de maturidade <i>Jorge Maciel, Evely Lira, Antonio Júnior, Francisco Abreu, Francisco Silva</i>	413
Caracterização da utilização do BIM pelos engenheiros civis no DF, Brasil: Adoção e implementação <i>José Nilo da Rocha Junior, Michele Tereza Marques Carvalho, Fernando Eduardo Andrade Leite Viana</i>	423
Previsão da conformidade de projectos de construção pública em Portugal com recurso a aprendizagem automática <i>Luís Jacques de Sousa, João Poças Martins, Luís Sanhudo</i>	435
Definição e controlo dos requisitos de informação BIM <i>Andrijana Djukic, Bruno Caires, José Carlos Lino</i>	449
Contratação integrada de obra emergencial em BIM – Desafios e benefícios para um órgão público no Brasil <i>Silvia Pereira, Erisvaldo Juvêncio, Marly Vieira, Patricia Abirached</i>	461
Adoção do BIM em contratações públicas – A experiência de 10 anos de aprendizados na Fiocruz <i>Ana Cuzzatti, Gustavo Guimarães, Luiz Silva, Silvia Pereira</i>	473
BIM na gestão pública: Tópicos para a contratação de projetos <i>Eduardo Nardelli, Miguel Azenha, Carlos Mingione, João Pires, Stefania Dimitrov, Natasha Sotovia, João Gaspar, Rodrigo Alvarado</i>	485
Parte VIII – Casos de Estudo	497
Obra: Colaboração e desafios na reabilitação do Centro de Arte Moderna – Fundação Calouste Gulbenkian <i>Ricardo Santos, Pedro Ferreirinha</i>	499
Abordagem BIM ao projeto linha circular do Metro de Lisboa – Lote 2: Escavação <i>Cut&Cover</i> e obras especiais <i>Carlos de Oliveira Martins, Joana Silva, Pedro Marques, André Henriques, Rui Tomásio</i>	509

Lições aprendidas sobre o uso de BIM na fase de construção da extensão da Linha Amarela do Metro do Porto – A perspetiva do empreiteiro <i>Soraia Pereira, Manuel Tender</i>	523
BIM para portos – Case terminal STS 11 <i>Wesley Castelo, Renato Gama, Vinícius, Santana</i>	535
O processo de gestão BIM no projeto de reabilitação do edifício sede do Tribunal de Contas <i>Fernando Bagulho, João Lousada Soares, Filipe Lima, Sébastien Roux</i>	547
Desenvolvimentos BIM no plano geral de drenagem de Lisboa: Comunicação, acompanhamento e controlo <i>Tiago Andrade Gomes, Gonçalo Diniz Vieira, Luís Ribeirinho, Ricardo Pontes Resende, António Hipólito, Catarina Feio, Sebastien Roux, Paulo Gordinho</i>	559
Projeto da sede da Fidelidade: Ciclo de vida BIM do programa preliminar à obra <i>António Hipólito, Catarina Feio, Afonso Silva, Filipe Lima, Sébastien Roux</i>	571
Implementação do BIM em obras lineares – Canal do Sertão Alagoano – Trecho 5 <i>Tarek Farah, Marieli Donina, Gabriela Farias</i>	583
Aplicação BIM em corredores de transporte urbano <i>Thiago Dantas, Melissa Rigo, Luiz Silva</i>	595
Parte IX – Educação BIM	605
Introdução do BIM no ensino da Arquitetura: Lições aprendidas <i>Francisco Teixeira Bastos</i>	607
Projeto imersivo e novas competências digitais no contexto da reabilitação e valorização do património <i>José Santos, Patrícia Escórcio</i>	621
Capacitação dos profissionais de Engenharia, Agronomia e Geociências registrados no CREA-PE pertinente ao projeto CREA Qualifica (Curso BIM) <i>Ítalo Santos, Adriano Lucena, Nielsen Christianne, Adriana Pereira, Beatriz Kataryna</i>	633
O BIM na Universidade: Relato da implantação de célula BIM na FAU UFRJ <i>Mônica Santos Salgado</i>	645
Plataforma europeia BIMVET3 para o ensino da metodologia BIM <i>Luísa M. S. Gonçalves, Miguel Barreto Santos, Ricardo Duarte</i>	655

Parte V – Qualidade e Interoperabilidade

Criação de um processo de auditoria de modelos BIM visando os usos dos modelos pretendidos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.1>

**Camila Joko¹, Luis Tomaz²,
Gabriella Queiroz³, Paula Mota⁴**

¹ *SIPPRO, São Paulo – SP, 0009-0004-7043-1225*

² *SIPPRO, Porto – PT, Cidade 2, 0009-0001-5466-8597*

³ *SIPPRO, Goiânia – GO, 0009-0008-9647-1718*

⁴ *SIPPRO, Birmingham – UK, 0000-0001-7559-8455*

Resumo

A busca para garantir que as informações inseridas no modelo BIM estejam corretas, faz com que os coordenadores e gestores de projetos estabeleçam processos de auditoria para controle de qualidade da informação. A necessidade de conduzir auditorias emerge principalmente quando se encontra baixa qualidade das informações atribuídas ao modelo BIM, podendo ser classificadas como informações incorretas, informações faltantes e informações inseridas de forma equivocada. Além disso, a prática dos coordenadores e gestores de projetos de realizar auditorias nos modelos BIM antes da aplicação dos usos do modelo, ajuda a reduzir a quantidade de inconsistências e conflitos encontrados. O presente artigo tem o objetivo de apresentar diferentes processos de auditorias dos modelos BIM que envolvem listas de verificação, ferramentas de visualização e apresentação das sugestões de melhoria no processo de modelagem, aplicados em três projetos reais. Para cada projeto, serão expostas as ferramentas utilizadas para a realização da auditoria, o fluxo do processo aplicado e os benefícios alcançados em cada situação. Como resultado, obteve-se uma lista de verificação base com itens a serem analisados na auditoria, bem como um fluxo ideal do processo BIM visando a fase de projeto. Como conclusão, observou-se que o registro de lições aprendidas e a busca pela melhoria contínua dos processos de auditoria aumentaram a produtividade e reduziu o tempo gasto durante a análise dos modelos BIM. Além disso, sugere-se melhorias futuras para aplicação das auditorias, levando em consideração a automatização do processo.

1. Introdução

Uma das características do *Building Information Modelling* (BIM) é a integração da gestão de informações dos projetos com a gestão de dados inseridos no modelo. Com a alta quantidade de informações trocadas durante o processo de projeto, surge a necessidade de garantir a precisão e confiabilidade dessas informações [1]. A partir desse cenário, coordenadores e gestores de projetos adotam processos de auditoria como uma prática para o controle de qualidade das informações, para a detecção de conflitos geométricos e para a supervisão da qualidade do projeto por meio do modelo BIM [2]. Essas auditorias são realizadas através de listas de verificações que contém: (i) itens gerais, considerando os documentos BIM como: *Exchange Information Requirements* (EIR), *BIM Execution Plan* (BEP), *Asset Information Requirements* (AIR), entre outros [1], e (ii) itens específicos por uso do modelo aplicado, que representa as interações entre o usuário e o modelo BIM para gerar resultados [3].

Dessa forma, as auditorias a partir de listas de verificações são vistas como estratégias para detectar informações incorretas, ausentes ou inseridas de maneira errada antes da aplicação dos usos do modelo, pois a falta de informações precisas e atualizadas pode afetar negativamente a eficácia do projeto [4]. Ou seja, ao identificar e corrigir falhas na informação antes da aplicação dos usos do modelo, é possível garantir precisão e alinhamento com as especificações do projeto, evitando erros e retrabalhos que poderiam aumentar os custos e atrasar o cronograma da construção [1].

Portanto, esse artigo tem como objetivo apresentar diferentes processos de auditorias dos modelos BIM que envolvem listas de verificação, ferramentas de visualização e apresentação das sugestões de melhoria no processo de modelagem, aplicados em três projetos reais.

2. Método

O método utilizado para o desenvolvimento desse artigo foi o estudo de caso. De acordo com [5], esse método “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”. Foram analisados três projetos que precisaram incorporar a prática de controle de qualidade no modelo antes da detecção de conflitos. Ainda baseado [5], as etapas do método foram seguidas da forma: a etapa (i) de formulação do problema foi caracterizada na introdução uma vez que se percebe que há a necessidade de um maior controle de qualidade das informações inseridas nos modelos BIM. Esse problema pode ser resolvido com a estruturação de auditorias visando ajustar os dados dos modelos antes da detecção de conflitos. A etapa (ii) de definição dos projetos consta com a caracterização dos projetos analisados. A etapa (iii) de coleta de dados foi feita a partir do recebimento de projetos técnicos e dados cedidos pela empresa SIPPRO. Por fim, na etapa (iv) de análise dos dados houve o estudo de como cada processo de projeto aconteceu. As etapas (ii), (iii) e (iv) serão detalhadas a seguir.

3. Resultados

O Quadro 1 apresenta as características de cada projeto, em termos de tipo do empreendimento, área construída, quantidade de torres e de pavimentos, quantidade de disciplinas modeladas em ferramentas BIM, existência de documentação inicial de modelagem, usos dos modelos aplicados, ferramentas utilizadas, ambiente comum de dados associado, formato e frequência das auditorias.

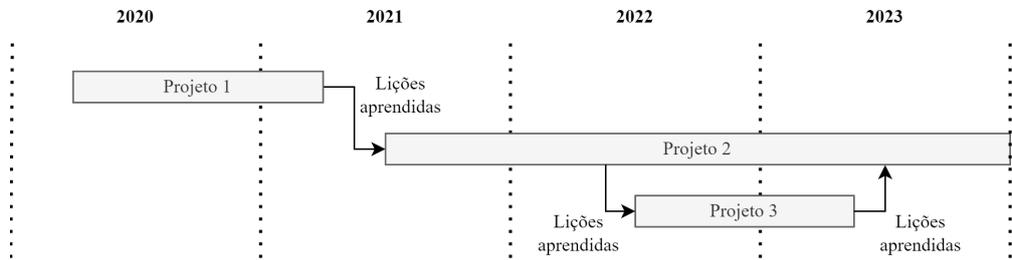
Quadro 1: Caracterização dos projetos

Características	Projeto 1	Projeto 2	Projeto 3
Tipo	Residencial	Misto	Residencial
Área construída	28.622,68 m ²	59.803,06 m ²	31.585,60 m ²
Quantidade de torres	1	2	1
Quantidade de pavimentos	32	Torre 1: 33 Torre 2: 26	32
Equipe envolvida no processo	Incorporadora Construtora Gestor de projeto Coordenação BIM Projetista	Incorporadora Usuário final Gestor de projeto Coordenação BIM Projetista	Incorporadora Construtora Coordenação BIM Projetista Modelador BIM
Disciplinas em BIM	13	24	12
Documentos BIM existentes no processo	BEP BIM mandate Livro de estilos Caderno de encargo	BEP Diretrizes de modelagem Guia de colaboração AIR	EIR BEP Diretrizes de modelagem
Usos modelo auditados	Autoria de projeto Detecção de conflitos Documentação técnica	Autoria de projeto Detecção de conflitos Extração de quantidades Estimativa de custos Documentação técnica Gestão de ativos	Autoria de projeto Detecção de conflitos Extração de quantidades Estimativa de custo Documentação técnica Simulação construtiva
Software de autoria	Autodesk Revit	Autodesk Revit Graphisoft Archicad	Autodesk Revit
Frequência da auditoria	1 vez por fase	2 vezes por fase	1 vez por fase

Durante o processo das auditorias, percebeu-se o baixo uso de padrões abertos como o *Industry Foundation Classes* (IFC) e o *Information Delivery Specification* (IDS). Esses padrões abertos possuem o objetivo de auxiliar na definição dos requisitos de troca, trazendo transparência entre a equipe. Por exemplo, o IFC é um padrão capaz de ser utilizado em uma ampla variedade de *hardware*, *software* e interfaces diferentes. Já o IDS garante uma especificação de requisitos precisas, incluindo materiais, classificações, dependência de objetos entre outras propriedades. Justifica-se o baixo uso desses padrões abertos pois a maturidade BIM das empresas envolvidas nos projetos 1 e 3 era limitada e consideravam apenas opções proprietárias.

Os três projetos analisados foram desenvolvidos em momentos distintos conforme apresentado na Figura 1. Isso proporcionou a aplicação de lições aprendidas entre os projetos, o que trouxe a melhoria contínua do processo de auditoria.

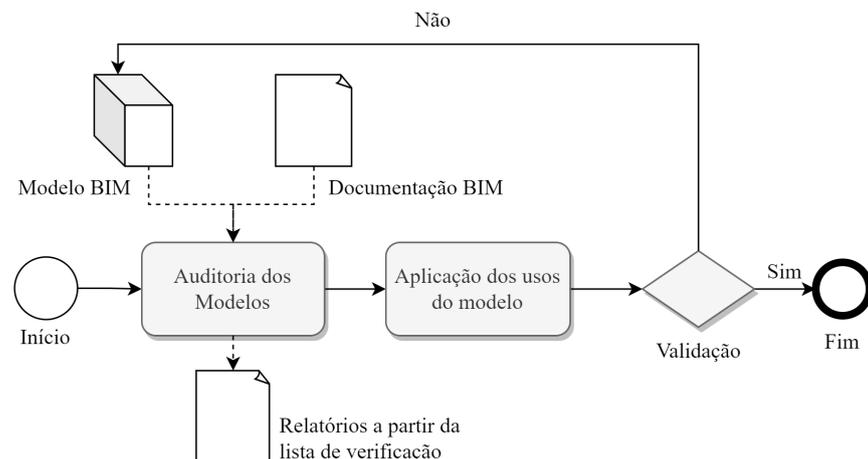
Figura 1
Linha do tempo de desenvolvimento dos projetos.



3.1. Análise do processo do Projeto 1

O Projeto 1 teve a característica de ser o primeiro projeto em BIM de uma empresa que estava implantando o BIM em 2020. Com isso, apenas três usos de modelo foram aplicados durante a fase de projeto (autoria do projeto, detecção de conflitos e documentação técnica). Por ser uma experiência inicial, a coordenação BIM gerou as auditorias dos modelos na ferramenta Microsoft Excel, por meio de relatórios. A auditoria apresentou análises de requisitos geométricos e de informação para garantir a qualidade das informações visando os usos do modelo aplicados de acordo com [3]. A Figura 2 apresenta o fluxo do da auditoria. Esse fluxo foi cíclico para cada fase de projeto.

Figura 2
Fluxo do processo de auditoria do Projeto 1.



A partir do fluxo acima, é visto que o processo de auditoria iniciou após a emissão de modelos e documentações BIM. A partir da lista de verificação foi possível gerar relatórios com comentários de auditoria dos modelos visando a melhoria do projeto.

A lista de verificação desenvolvida para o Projeto 1 foi individual de cada disciplina, que validou se o modelo atende aos usos estabelecidos nos documentos BIM

iniciais, como o BEP, Livro de Estilos e Caderno de Encargos. A primeira parte da lista autenticou o modelo quanto ao BEP, validando as estratégias e os processos BIM no projeto, as características e definições gerais como: informações do projeto, nível de desenvolvimento, a estrutura do modelo com as devidas nomenclaturas de tipo e material, subdivisão dos modelos, coordenadas, sistemas de unidades e integridade das informações. A segunda parte da lista foi direcionada ao método de modelagem para verificar se atendiam às premissas de modelagem por objeto, atendendo as definições específicas por fase do projeto, bem como as propriedades e parâmetros estabelecidos no Livro de Estilos da construtora. Por fim a terceira parte confirmou se as premissas construtivas estavam sendo aplicadas na modelagem, de acordo com o Caderno de Encargos. Ademais, por conta do prazo curto do cronograma de projetos, não houve uma espera de respostas dos projetistas antes da aplicação dos usos do modelo.

Como resultado, o Projeto 1 teve o cadastramento de 41 relatórios de auditoria, em que cada projetista era responsável por realizar os ajustes e inserções de informações conforme solicitação. Ao final da fase de projeto, houve o total de 159 comentários, sendo 90% atendidos, o que resultou em modelos e documentações técnicas consolidadas para serem utilizados em fase de obra.

3.2. Análise do processo do Projeto 2

O Projeto 2 foi o maior e o mais complexo dos três projetos analisados. A empresa contratante já possuía um histórico de projetos em BIM, o que possibilitou a aplicação de 15 usos do modelo durante a fase de projeto. Contudo, apenas seis usos foram envolvidos no processo de auditoria. Pela experiência da empresa já existente, o Projeto 2 trouxe o uso de uma plataforma colaborativa BIM para troca de comentários das auditorias. A plataforma usada foi a Dalux BIM Viewer. A Figura 3 apresenta o fluxo do processo de auditoria cíclico por fase de projeto, executado no Projeto 2.

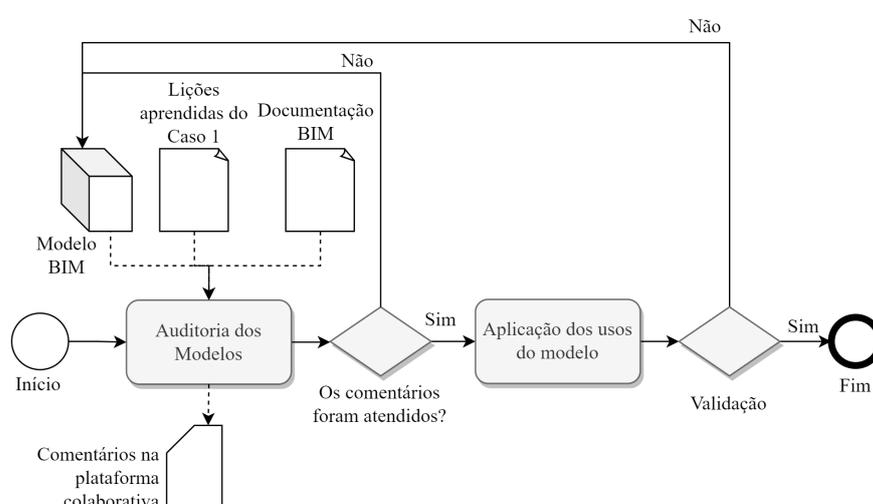


Figura 3
Fluxograma do processo de auditoria do Projeto 2.

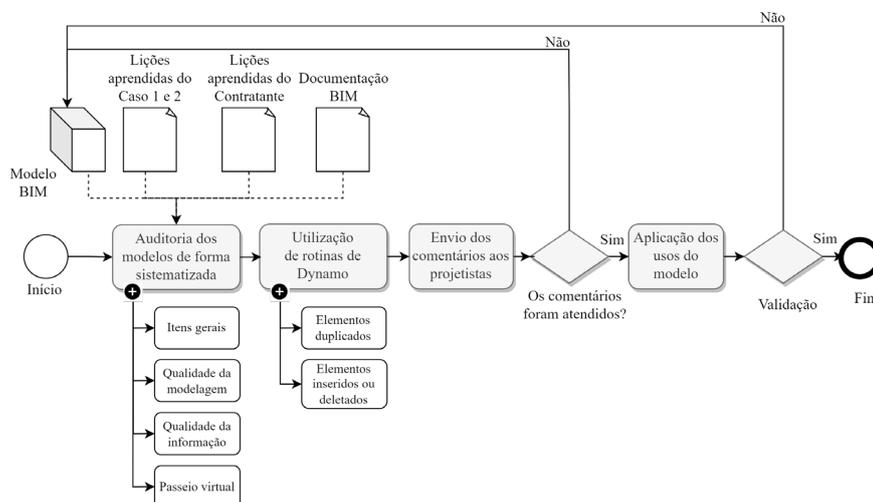
Como visto do fluxo acima, com o recebimento das lições aprendidas no Projeto 1, o Projeto 2 apresentou um avanço no processo, uma vez que utilizou uma plataforma colaborativa. Essa plataforma recebia os modelos BIM e os comentários, facilitando a integração de mais projetistas no processo. Dessa forma, a comunicação e reuniões de compatibilização foram feitas através da plataforma colaborativa, mantendo um histórico de respostas e ações realizadas durante todo o processo de projeto, pois todos da equipe possuíam acesso à plataforma. Outra melhoria percebida foi a execução de uma validação entre a atividade de auditoria e a aplicação dos usos do modelo. Isso proporcionou uma redução das inconsistências encontradas, evitando retrabalho e excesso de comentários de conflitos.

Em relação à lista de verificação aplicada, alguns itens foram sintetizados e objetivados, como por exemplo nomenclatura, parâmetros e informações semânticas dos objetos BIM. Além disso, novos itens incorporados possuíam um foco na qualidade do modelo, independente da ferramenta de autoria utilizada visando os diversos usos do modelo aplicados no projeto. Como resultado, o Projeto 2 produziu em 236 comentários de auditoria com atendimento de 95% até o início da fase de construção. Quando o Projeto 2 incorporou as lições aprendidas do Projeto 3, foi visto uma maior quantidade de benefícios entre interação da equipe, sistematização do processo, redução de tempo do fluxo e comunicação rápida, justificando o melhor resultado do Projeto 2.

3.3 Análise do processo do Projeto 3

O Projeto 3 aconteceu no mesmo período do Projeto 2 e a empresa contratante já trabalhava com BIM e possuía processos já amadurecidos. Isso fez com que o fluxo aplicado no Projeto 3 contemplasse tanto as lições aprendidas da empresa contratante, como as da empresa de consultoria BIM. A modelagem dos projetos foi feita por uma empresa específica para essa finalidade, pois no período da contratação dos projetistas, não foi solicitado que os projetos fossem feitos em BIM. A Figura 4 apresenta o fluxo do processo de auditoria cíclico por fase de projeto, executado no Projeto 3.

Figura 4
Fluxograma do processo de auditoria do Projeto 3.



Diferente do ocorrido no Projeto 2, a empresa contratante do Projeto 3 restringiu o acesso dos projetistas à plataforma colaborativa. Assim, o processo possuiu uma atividade extra, na qual a empresa contratante enviava aos projetistas os comentários de auditoria. Essa atividade ocorreu pelo fato de que o projetista não possuía acesso em tempo real à troca de informações dos comentários pela plataforma colaborativa. Essa atividade extra resultou em um ciclo de auditoria mais demorado se comparado ao Projeto 2.

Com a finalidade de reduzir o tempo do ciclo das auditorias, a empresa contratante criou uma sistematização para agrupamento dos itens de auditoria, como: itens gerais, qualidade da modelagem, qualidade da informação e o passeio virtual buscando inconsistências entre a própria disciplina. Os itens gerais englobavam questionamentos sobre a versão de *software*, coordenadas e unidades de medida. A qualidade de modelagem consistiu em verificações como limpeza de elementos não utilizados e arquivos importados, elementos duplicados, categorias dos objetos e restrições e geometria do objeto. A qualidade das informações era verificada através de tabelas e filtros com cores e transparências que permitiam uma rápida identificação de nomenclaturas, informações não geométricas em parâmetros. Por fim, o passeio virtual focava em visualizar elementos soltos ou desconectados, ou não pertencentes à divisão da disciplina, além de inconsistências de projeto e modelagem.

Além da sistematização da auditoria, o Projeto 3 proporcionou a utilização de duas rotinas de automatização via Dynamo para dar agilidade às verificações. A primeira rotina verificou e listou em tabela os elementos duplicados e seus respectivos *Element Ids*. Já a segunda rotina indicou, por cores na vista 3D, elementos novos que foram inseridos ou elementos que foram excluídos ao comparar uma revisão com outra mais recente do modelo. Essas rotinas otimizaram o tempo de execução da auditoria e ajudaram os projetistas para a realização dos ajustes solicitados.

Com isso, a partir das lições aprendidas do Projeto 3, foi possível melhorar o fluxo do Projeto 2 que, no momento, ainda estava ocorrendo. Ou seja, as ações de otimização do processo da auditoria foram incorporadas, havendo a adaptação e atualização da lista de verificação, e a inserção das rotinas de Dynamo.

Como resultado, o Projeto 3 promoveu 92 comentários de auditoria, com atendimento de 70% até o início da fase de construção.

3.4. Lista de verificação e fluxo ideal

O processo de auditoria contínua nos projetos foi benéfico em todos os projetos apresentados, uma vez que, antes da aplicação de múltiplos usos, os modelos foram verificados quanto à sua integridade e cumprimento dos requisitos apontados na documentação BIM. Dos benefícios encontrados, destacam-se: (i) comunicação e colaboração mais ativa entre a equipe; (ii) maior compreensão das inconsistências dos projetos; (iii) retorno rápido com as respostas dos comentários para liberação do projeto; (iv) melhoria contínua do projeto através de discussões colaborativas;

(v) diminuição da quantidade de inconsistências encontradas durante a aplicação dos usos do modelos; (vi) redução do retrabalho por parte dos projetistas.

Além disso, a partir da análise dos itens de auditoria dos projetos citados, percebeu-se que as demandas essenciais ainda no início do processo de projeto foram: (i) a solicitação de ajuste de coordenadas iniciais antes da realização da detecção de conflitos; (ii) a identificação de objetos duplicados, evitando o alto número de comentários na detecção de conflitos; (iii) a solicitação para inserção de especificações conforme memorial descritivo antes da extração de quantitativos; e (iv) a solicitação de ajuste de prumadas de paredes separadas por pavimento para atender a simulação construtiva.

Com essas constatações, foi possível obter uma estrutura básica da lista de verificações para atender aos requisitos principais dos usos do modelo mais requisitados, como autoria de projeto, detecção de conflitos, documentação técnica, extração de quantidades, estimativa de custo, simulação construtiva e gestão de ativos. O Quadro 2 apresenta essa estrutura básica que deve ser utilizada como padrão e adaptada sempre que necessário para as diferentes situações de projetos

Quadro 2: Estrutura básica da lista de verificações

N.	Tipo de análise	Itens a serem analisados
1	Geral	Os modelos estão sendo entregues na versão correta?
2	Geral	Os níveis/elevações estão de acordo com o solicitado?
3	Geral	O sistema de unidades está de acordo com o solicitado?
4	Geral	O sistema de coordenadas está de acordo com o solicitado?
5	Modelagem	O <i>purge</i> foi aplicado?
6	Modelagem	Foram excluídos links, referencias e elementos temporários?
7	Modelagem	Os ambientes foram mantidos conforme solicitados?
8	Modelagem	Os tipos das categorias foram mantidos conforme solicitados?
9	Modelagem	A duplicidade de elementos/objetos e informações foi evitada?
10	Modelagem	Os elementos estão associados aos níveis correspondentes?
11	Modelagem	O modelo contém a geometria para extração de quantitativos?
12	Modelagem	Modelo foi feito para simular a sequência construtiva?
13	Informação	A nomenclatura do arquivo está de acordo com o solicitado?
14	Informação	Todos os elementos estão com a nomenclatura definida?
15	Informação	O modelo contém as informações para extração de quantitativos?
16	Informação	O modelo contém as informações para a simulação construtiva?
17	Informação	O modelo contém as informações para a gestão de ativos?
18	Passeio virtual	O conflito entre a própria disciplina foi evitado?
19	Passeio virtual	Elementos soltos no modelo foram evitados?
20	Passeio virtual	O modelo contém apenas os elementos da disciplina?

Visando o fluxo ideal de auditoria, acredita-se que a adaptação do fluxo do Projeto 2 com o fluxo do Projeto 3 é a situação ideal de processo, pois a comunicação, colaboração, tempo e custo foram otimizados da melhor forma. A Figura 5 apresenta o fluxo ideal.

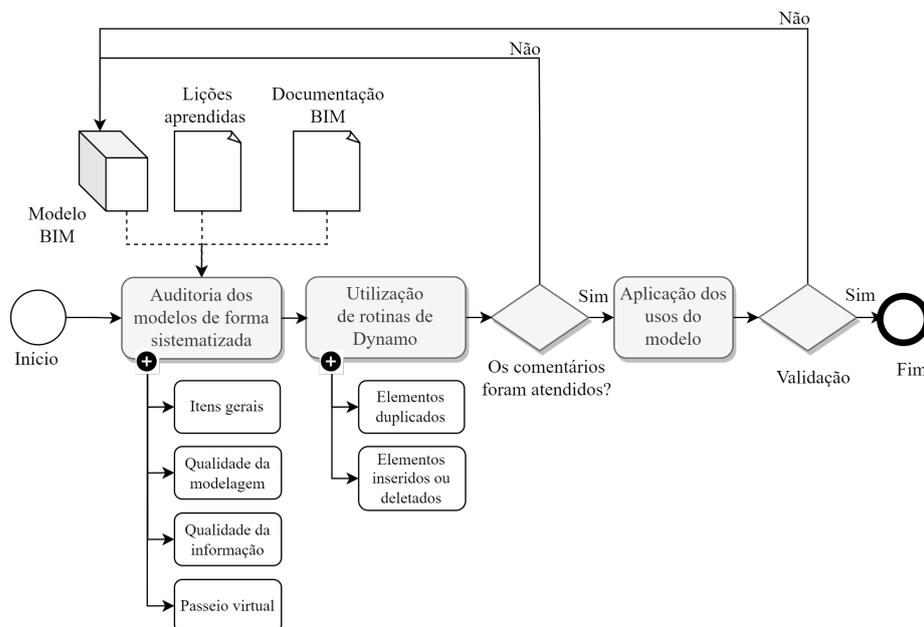


Figura 5
Fluxo ideal de auditoria.

4. Conclusão

Esse artigo apresentou diferentes processos de auditorias dos modelos BIM que envolveram listas de verificação, ferramentas de visualização e apresentação das sugestões de melhoria no processo de modelagem. O método de estudo de caso foi aplicado, analisando três projetos reais que incorporaram práticas de auditoria nos processos de modelagem BIM. A evolução desses projetos ao longo do tempo permitiu identificar melhorias contínuas nas auditorias, resultando em processos mais eficientes. Além disso, os resultados parciais de cada projeto revelaram que a utilização de plataformas colaborativas, a participação efetiva da equipe e a integração de lições aprendidas contribuíram significativamente para otimizar a comunicação, reduzir inconsistências e agilizar o processo de auditoria.

Ademais, a análise dos processos de auditoria resultou na identificação de itens essenciais a serem considerados nas listas de verificação, como aspectos gerais, de modelagem, de informações e passeio virtual, além da apresentação de um fluxo ideal de processo de auditoria. Esses resultados oferecem uma base adaptável para atender aos requisitos principais dos usos do modelo, contribuindo para o avanço e aprimoramento contínuo da aplicação do BIM no contexto da construção civil.

Como melhorias para um próximo processo de auditoria, sugere-se a criação de outras rotinas para automatização do processo de auditoria, buscando otimizar tempo e

custo durante o processo de projeto. Além disso, como trabalho futuro, vislumbra-se o uso de padrões internacionais abertos como o IFC e o IDS para uma melhor troca de informações na fase de operação e manutenção, especialmente no projeto 2, pois há a intenção de fazer o uso de gestão de ativos posteriormente.

Referências

- [1] L. Chen, Q. Wu, X. Xie, "Research and Application of BIM-based Specification-compliant Field Quality Management for Lean Construction," In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 267, no. 5, p. 052059, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/267/5/052059.
- [2] M.S. Raza, B.A. Tayeh, Y.I. Abu Aisheh, A.M. Maglad, "Enhancing the capabilities of project managers in applying knowledge areas in the construction industry using building information modeling (BIM)," Heliyon, vol. 9, 2023, e19697.
- [3] B. Succar, N. Saleeb, and W. Sher, "Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language," In Australasian Universities Building Education (AUBEA2016), Cairns, Australia, July 6-8, 2016. [Online]. Available: <http://bit.ly/BIMPaperA10>
- [4] Y-C. Lin, "Use of BIM approach to enhance construction interface management: a case study." In Journal of Civil Engineering and Management, v. 21, n. 2, pp. 201-217, 2015. DOI: 10.3846/13923730.2013.802730.
- [5] G. Antônio Carlos. "Como Elaborar Projetos de Pesquisa." 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

Quality check of BIM models using machine learning

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.2>

**Iraj Esmaeili¹, João Poças Martins²,
José Miguel Castro³**

¹ *PhD Student, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, 0000-0002-4819-0312*

² *CONSTRUCT-FEUP, BUILT CoLAB, Porto, 0000-0001-9878-3792*

³ *Associate Professor, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering of the University of Porto, Porto, 0000-0001-9732-9969*

Abstract

The complexity of BIM models challenges the engaged parties to deliver an accurate model suitable for various purposes. This is especially important during the construction stage, where errors in construction drawings entail considerable cost and time burdens. As a possible solution, artificial intelligence and machine learning (ML) techniques can be deployed to assist BIM parties with the time and resource-consuming task of checking the quality of BIM models. This study aims to use machine learning techniques to check the quality of BIM models, especially in precast structural wall openings. A machine learning model was used in a BIM model of a project to detect anomalies in openings of precast structural walls, and it was able to detect all the openings with wrong information, which, consequently, would negatively impact the final delivery of the walls. Considering the applicability of using such an ML model in other projects, the contribution of this study is to reduce the errors in the construction drawings and consequently secure the projects in terms of time and cost burdens due to these errors.

1. Introduction

As the construction industry moves towards digitalization and adoption of Building Information Modelling (BIM), ensuring the quality of BIM models becomes relevant. Delivering the project within the planned time, budget, and quality is tightly connected to the drawings issued for construction. Since construction drawings are produced from BIM models, missing and incorrect information in BIM models leads to errors in later phases. Therefore, a sound BIM model will produce constructible drawings with fewer errors.

Missing and incorrect information can hinder the automation of tasks and jeopardize the quality of construction output. Due to the large variability of geometries and objects in BIM models, the data embedded in the models cannot be automatically verified by setting explicit rules [1]; therefore, artificial intelligence (AI) and specifically machine learning techniques can replace the need for hardcoding the rules. Moreover, rule inference is itself a specific and constrained instantiation of AI [2].

The field of artificial intelligence is a thriving field that has numerous practical applications. The ability of AI systems to learn from data alleviated the difficulties encountered by systems that rely on hard-coded knowledge [3]. Machine learning algorithms offer solutions in several areas that need prediction, classification, clustering, and anomaly detection. Therefore, manual or rule-based data verification for anomaly detection can be replaced by an automated machine learning process.

As BIM models are growing in size and complexity, a human-performed quality check, even on a specific object class, might be impossible within the strict deadlines of projects. Hence, this study proposes a method for BIM model quality checking for openings where mechanical, electrical, and plumbing (MEP) services pass through them in the walls, floors, and ceilings of buildings. A machine learning model was applied to identify errors and omissions in the data embedded in opening elements.

The structure of this study is organized as follows: first, a background on BIM and machine learning studies is provided in Section 2. Next, in Section 3, the research method is discussed. Then, the experiments and the results are reported in Section 4. Finally, the conclusions and future work are presented in Section 5.

2. Background

Various studies peeked into the evaluation of BIM models and the quality of data in the models. Detecting abnormal data in BIM models [1], classification of room types and semantic enrichment [2], detection of anomalies in mapping BIM to IFC (industry foundation classes) [4], and code compliance checking and semantic enrichment [5] are among the BIM quality checking studies conducted so far.

On the other hand, using machine learning with BIM is increasingly common. In a study by [6], a BIM and machine learning integration framework was developed to

automate real-state property valuation. A Support Vector Machines (SVM) model was proposed in [7] to classify heritage building objects such as floors, ceilings, roofs, beams, and walls given a point cloud. In facility maintenance management (FFM), machine learning algorithms were used in conjunction with BIM and Internet of Things (IoT) devices to predict the future condition of MEP elements [8]. Another study [9] focused on integrating BIM and machine learning in railway systems to localize defects in railway infrastructure. Using new technologies such as image processing, machine learning, and virtual reality (VR) along with BIM to automate construction project simulation [10] is another example of how machine learning is applied with BIM.

The use of machine learning in the quality assessment of BIM models and the embedded information is not rare either. Several studies ([1], [2], [4], [5]) benefited from machine learning in their BIM quality checking research. Therefore, this study is also motivated to explore a new aspect of BIM model quality checking through the application of machine learning models. Machine learning models were deployed in the BIM openings model where each opening in the model represents a void space in architectural or structural elements of the building. Elements in the BIM opening model have specific parameters whose values are related to the wall's type (precast, gypsum, masonry, among others) in which the opening resides. The goal of this study is to verify these data values for openings in the BIM model.

3. Research method

3.1. Problem statement

Building upon the existing gaps, this study started with a literature review. Due to the complexity of the BIM models and limitations of the rule-based methods for BIM quality checking in terms of scalability and interoperability, a method to use machine learning techniques was adopted. The federated BIM model consists of several separate models from different disciplines, such as architectural, structural, and mechanical. Since each of these models might have been developed in a different BIM authoring software, interoperability issues may arise. This is where the main authoring software might fail to recognize the correct categories of elements from other BIM authoring software or detect the clashes between elements of models from different authoring software. Therefore, machine learning models were used instead of rule-based scenarios to avoid such issues. Two machine learning models were developed and implemented in the context of a BIM project, and finally, the results of the experiments and the performance of each machine learning model were reported. In the following, the pipeline for gathering data, preprocessing data, developing the machine learning models, and finding the best hyperparameters for the models are discussed in detail.

3.2. Data gathering from BIM model

A sample federated BIM model consisting of architecture, structures, and MEP disciplines with a model for openings was adopted. The BIM model for openings is a set of rectangular or circular elements representing the void spaces where the MEP services pass through the architectural or structural elements, i.e., walls, slabs, and floors. Having the BIM model, a Python script was developed using Revit's API to retrieve all the openings in the model and their location and geometry features. These features consist of the location of the opening in space, its rotation, facing orientation, hand orientation, and transformation. Therefore, each sample will have three features for location, one rotation, three facing orientations, three hand orientations, and nine transformations (three for each basis).

Since these features are location-based, the openings' data are independent of the relationship between the BIM opening model and BIM models of other disciplines. This means that, for example, there is no need to see if the opening is clashing with a wall and then check the type of the wall to associate the correct parameter value for the opening based on the wall type; hence, a rule-based quality check. This rule-based approach might be the case when all BIM models constituting the federated BIM model are developed in the same authoring software. However, this approach fails when the BIM models of different disciplines are developed in different authoring software, which is the case in many situations. In addition, the rules need to be tailored for every authoring software due to their intrinsic differences. With the method described in this paper, the dependency on the authoring software, and consequently interoperability issues, is eliminated.

Finally, each opening has a specific parameter, such as the "Workset" parameter used in this study, that indicates the type of wall in which the opening resides. This feature needs to be verified in terms of the correct value. In case of failure to meet this verification, errors will occur in construction drawings.

3.3. Data preprocessing and machine learning model development

Processing data before feeding it to the machine learning model is beneficial and sometimes necessary. The data contains both numerical and categorical values. In addition, the numerical values have different ranges; hence, they need to be scaled. This task was done by creating a Standard Scaler as a numerical preprocessor to transform numerical data by removing the mean and scaling to unit variance. For categorical features, such as Workset, One-Hot encoding was implemented to create binary columns for each category to represent the presence or absence of that category with a value of 1 or 0, respectively. For example, if Workset has two possible values A and B, One-Hot encoding will create two separate columns for Workset A and Workset B. Whenever the element's Workset is A, it will assign a value of 1 for Workset A and a value of 0 for Workset B and vice versa.

After preprocessing the data, a K-Means model was adopted to cluster the openings with similar locations and geometric features. The K-Means algorithm is an unsupervised machine learning algorithm used for clustering. The K-Means algorithm partitions the data into k clusters, and each data point is assigned to the nearest cluster based on its distance to the mean of clusters. The parameter k needs to be defined by the user. Generally, determining an appropriate value for k might be challenging, and selecting an incorrect value could lead to unfavourable results. A silhouette score, which is the mean silhouette coefficient over all instances, can be used as a more precise alternative. The Silhouette coefficient for an instance is calculated by Equation (1).

$$\text{silhouette coefficient} = \frac{b - a}{\max(a, b)} \quad (1)$$

In Equation (1), a is the mean distance to the other instances in the same cluster, and b is the mean distance to the instances of the next closest cluster. The silhouette coefficient can vary between -1 and +1, where a value close to +1 means that the instance is in the right cluster. A value close to -1 means that the instance is in the wrong cluster, and a value close to 0 means that the instance is close to a cluster boundary [11].

Following the determination of the optimal k , the K-Means algorithm was developed considering the optimal number of clusters. Next, the opening elements that were collected and preprocessed in previous steps were clustered using the K-Means algorithm. As mentioned earlier, the purpose is to detect the openings that do not have the correct value for the Workset parameter. Then, the mode with respect to the Workset for each cluster was calculated. Finally, anomalies were detected where the Workset value for each element was different from the cluster's mode. As shown in Figure 1 there are openings on structural walls and architectural walls. The openings residing on each wall type must have the proper Workset value, i.e., "Precast-Wall" for the openings on the structural walls, "Gypsum-Wall" for the openings on the architectural walls, and so on. Failing to meet this criterion means that the opening with incorrect information will not appear on the respective drawings and consequently, a mistake in construction will happen that will have negative cost and time impacts.

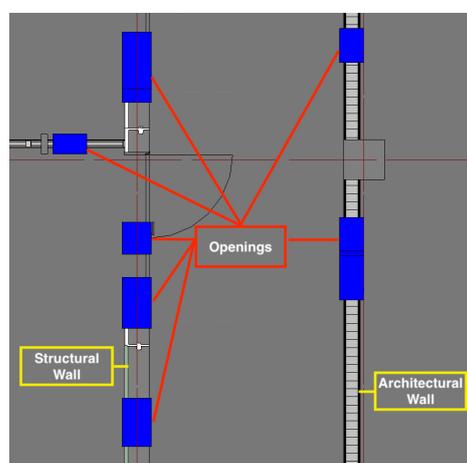
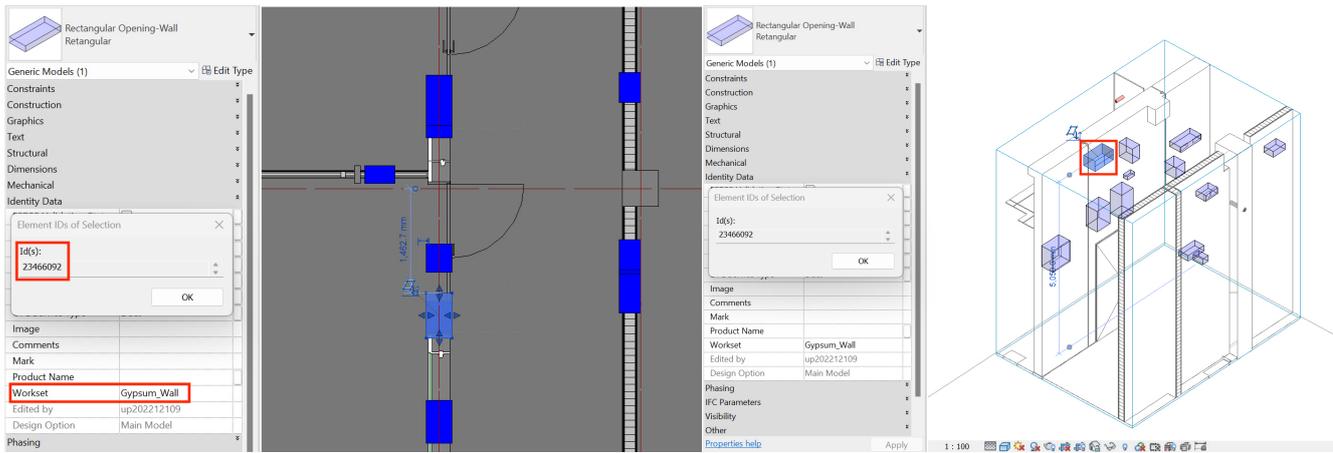


Figure 1
An example of wall types and openings.

4. Results

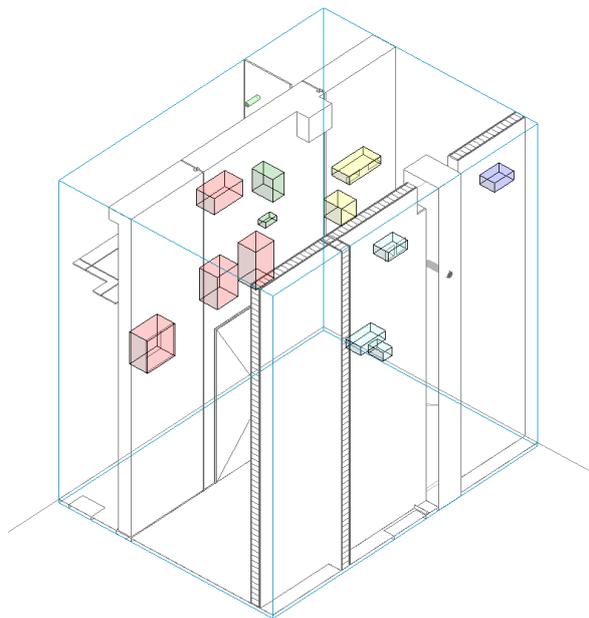
Following the collection of opening elements in the project, the aforementioned features (location, orientation, Workset, and so on) were retrieved for each opening. Next, the data was preprocessed to transform numerical data and categorical data. The output of data preprocessing served as the main dataset to feed the machine learning model. Next, the K-Means model was implemented to cluster the openings and detect anomalies. In this scenario, an opening was modelled on the structural wall with an incorrect Workset as a “Gypsum-Wall” (see Figure 2).

Figure 2
The anomaly opening in 2D and 3D views with its ID.



The model was able to cluster the openings and correctly detect the opening with the incorrect information. As shown in Figure 3, the model was able to cluster the openings properly. In Figure 3, openings with the same colour belong to the same cluster.

Figure 3
Clustering results in a 3D view



A summary of the results is shown in Figure 4. As reported, the model was able to detect the opening with incorrect information and report its ID. This scenario had 13 openings, and the model grouped them into 5 clusters. The processes of finding the optimal number of clusters and clustering the openings took less than 1 second on a MacBook Pro with an Apple M1 Pro chip and 16 GB memory.

```

IRAJESMAEIL35ES\irajesmaeil | 4.8.12.22247+0031:385;2021.0 | - □ ×
id code locX ... trans_basisZy trans_basisZz workset
0 22191929 c1 -52.249 ... 1 0 Precast_Wall
1 23465408 b2 -58.292 ... 1 0 Precast_Wall
2 23466092 d1 -49.614 ... 1 0 Gypsum_Wall
3 23510440 g2 -60.092 ... -1 0 FireProof_Wall
4 23511681 e2 -52.409 ... -1 0 FireProof_Wall

[5 rows x 22 columns]
===== OUTLIERS IDs =====
[23466092]
===== Process Info =====
Number of elements: 13
Number of elements processed: 13
Number of clusters: 5
Time for finding k: 0 sec / 0.0 min
Time for clustering: 0 sec / 0.0 min
=====
Process ended!

```

Figure 4

A summary of the process with the anomalies detected by the K-Means model.

Following the successful experiment with a small-scale project, the K-Means model was implemented in a project with 170 openings. This project contained three openings with incorrect information. A total number of 15 random initializations was used to find the best k , and 10 random initializations were used for the K-Means model at the clustering step. Using the silhouette method for finding the optimal k , a total number of 54 clusters was suggested. The K-Means model was implemented with these parameters as the model's hyperparameters. Although the model was able to detect the three anomalies, it incorrectly included nine more openings as anomalies. As depicted in Figure 5, this incorrect detection is because the K-Means model puts the openings on the two facing walls in the same cluster, which is incorrect. The opening tags in Figure 5 mean that, in total, four openings belong to cluster number 25.

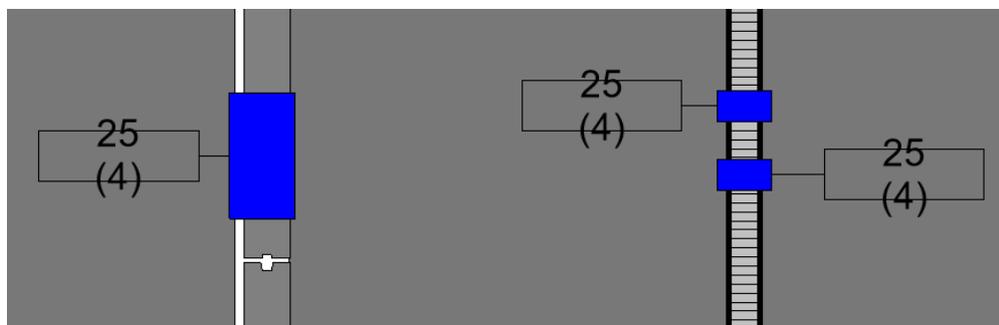


Figure 5

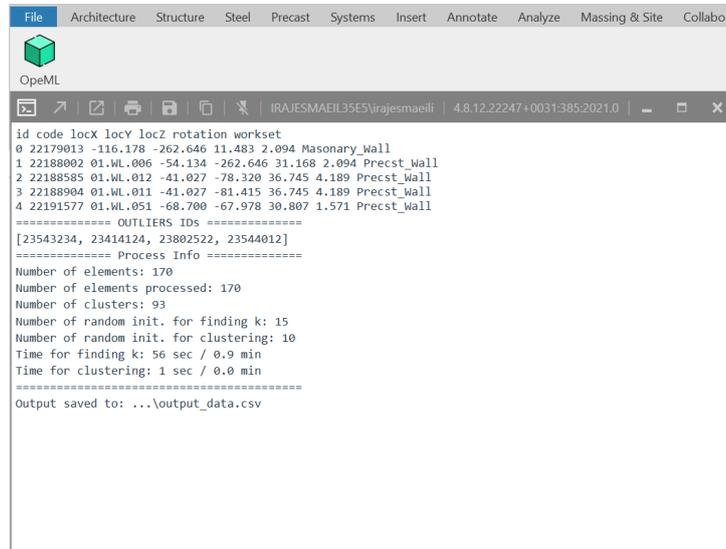
Example of undesirable clustering by the K-Means model.

A possible reason for this behaviour of the K-Means model could be that the data is not isotropic, i.e., the data is not evenly distributed in all directions. The openings reside along the walls in x or y directions, so from a location point of view, the data has elongated shapes. The performance of the K-Means models can diminish when working with elongated data; therefore, this incorrect clustering could be due to non-isotropic data.

As an alternative, a Gaussian Mixture Model (GMM) was deployed. A GMM is a probabilistic model, and the underlying assumption is that the instances were generated from a mixture of several Gaussian distributions [11]. In its simplest form, the number of k of Gaussian distributions must be known in advance. Using the same process of finding the optimal k as the K-Means model and the same number of random initializations, a GMM model was developed. Following the implementation of the GMM model, the results showed that the model could properly cluster the openings and detect all three anomalies (see Figure 6).

Figure 6

A summary of the process with the anomalies detected by the GMM model.



```

File Architecture Structure Steel Precast Systems Insert Annotate Analyze Massing & Site Collabor
OpeML
id code locX locY locZ rotation workset
0 22179013 -116.178 -262.646 11.483 2.094 Masonary_Wall
1 22188002 01.WL.006 -54.134 -262.646 31.168 2.094 Precst_Wall
2 22188585 01.WL.012 -41.027 -78.320 36.745 4.189 Precst_Wall
3 22188904 01.WL.011 -41.027 -81.415 36.745 4.189 Precst_Wall
4 22191577 01.WL.051 -68.700 -67.978 30.807 1.571 Precst_Wall
===== OUTLIERS IDs =====
[23543234, 23414124, 23802522, 23544012]
===== Process Info =====
Number of elements: 170
Number of elements processed: 170
Number of clusters: 93
Number of random init. for finding k: 15
Number of random init. for clustering: 10
Time for finding k: 56 sec / 0.9 min
Time for clustering: 1 sec / 0.0 min
=====
Output saved to: ...output_data.csv

```

The model only returned one incorrect opening as an anomaly, which is much less than the K-Means model. A probable reason for this kind of misdetection could be the existence of clusters with only one or two elements. When the clusters have one or two elements, the mode of the cluster is the element itself in case of one element, or the mode can be both elements in case of two elements with different Worksets. This can be avoided by assigning these elements to the next nearest clusters.

As depicted in Figure 6, with the hardware configuration used for running the machine learning models, the time for clustering is almost negligible, even for a higher number of random initializations. However, finding the optimal k using the silhouette score took almost 1 minute for the model with 170 elements. For projects with hundreds or a few thousands of openings, it will take longer to come up with a good number for k since this approach is computationally expensive.

5. Conclusions

As the construction sector progresses towards digital transformation and the integration of BIM, ensuring the quality of BIM models becomes relevant. Missing and incorrect information integrated with the BIM models in the design phase can lead to errors in subsequent phases. Several studies in the past have peeked into the quality assurance of BIM models, and a number of them have tried to use machine learning to serve their purpose. This study considers a new aspect of BIM model quality checking in the area of data verification for MEP services' openings. As a new approach, we deployed two machine learning models, K-Means and Gaussian Mixture Models, and the results showed promising results in the proper detection of incorrect information embedded in the BIM models.

This study contributes to the body of knowledge by putting forward a new aspect of BIM data verification and exploring the application of machine learning techniques in this area. Equally important, this study contributes to the practice by reducing the errors in the BIM models and consequently securing the projects from time and cost burdens due to these errors.

This study tried to break free from the dependency on specific BIM authoring software by using location data of the BIM elements and machine learning models. This method can be insightful for future studies in the field of BIM quality checking and encourage researchers to consider the benefits of using unsupervised machine learning techniques in their research. In addition, since finding the optimal number of clusters might be computationally expensive in large models, future work can elaborate on methods that are less time-consuming yet efficient for finding a good number of clusters for unsupervised machine learning models.

Acknowledgments

This work has been developed within the scope of "R2U Technologies - modular systems" project, contract C644876810-00000019, funded by the Recovery and Resilience Plan (PRR) and by the European Union - NextGeneration EU.

This work is also integrated in the R&D activities of the CONSTRUCT Institute on Structures and Constructions, financially supported by Base Funding UIDB/04708/2020 through national funds of FCT/MCTES (PIDDAC).

References

- [1] M. Xiao, Z. Chao, R. F. Coelho, and S. Tian, "Investigation of Classification and Anomalies Based on Machine Learning Methods Applied to Large Scale Building Information Modeling," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 13, Jul. 2022, doi: 10.3390/APP12136382.

- [2] T. Bloch and R. Sacks, "Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models," *Autom Constr*, vol. 91, pp. 256-272, Jul. 2018, doi: 10.1016/J.AUTCON.2018.03.018.
- [3] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep learning*. MIT press, 2016.
- [4] B. Koo, B. Shin, and T. F. Krijnen, "Employing Outlier and Novelty Detection for Checking the Integrity of BIM to IFC Entity Associations," vol. 2017, p. 1, 2017, doi: 10.22260/ISARC2017/0002.
- [5] T. Bloch and R. Sacks, "Clustering Information Types for Semantic Enrichment of Building Information Models to Support Automated Code Compliance Checking," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, no. 6, p. 04020040, Jul. 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000922.
- [6] T. Su, H. Li, and Y. An, "A BIM and machine learning integration framework for automated property valuation," *Journal of Building Engineering*, vol. 44, p. 102636, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.102636.
- [7] M. Bassier, M. Vergauwen, and B. Van Genechten, "AUTOMATED CLASSIFICATION OF HERITAGE BUILDINGS FOR AS-BUILT BIM USING MACHINE LEARNING TECHNIQUES," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. IV-2-W2, no. 2W2, pp. 25-30, Aug. 2017, doi: 10.5194/ISPRS-ANNALS-IV-2-W2-25-2017.
- [8] 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," *Autom Constr*, vol. 112, p. 103087, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.AUTCON.2020.103087.
- [9] J. Sresakoolchai and S. Kaewunruen, "Integration of Building Information Modeling and Machine Learning for Railway Defect Localization," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 166039-166047, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3135451.
- [10] F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, and N. Dawood, "On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning," *Autom Constr*, vol. 110, p. 103012, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.103012.
- [11] A. Géron, *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow*. "O'Reilly Media, Inc.," 2019.

Análise de qualidade em modelos BIM: Aprimorando a eficiência

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.3>

**Leticia Weijh¹, Alana Stamford¹,
Juliana Scanoni¹, João Carvalho¹**

¹ TPF Engenharia, São Paulo, Brasil.

Resumo

Assegurar a qualidade das informações em um modelo BIM é fundamental para o sucesso ao longo de todo o ciclo de vida de um projeto de construção, abrangendo desde a fase inicial de concepção até a subsequente operação e manutenção. Normalmente, essa verificação é realizada manualmente pelos coordenadores de projetos, utilizando ferramentas como o Navisworks, tabelas e listas de verificação, ocasionalmente com amostras de elementos. Apesar de ser eficaz em alguns casos, esse método pode se mostrar impreciso e demorado, já que alguns itens podem ser inadvertidamente negligenciados. Com o objetivo de aprimorar esse método de análise, desenvolvemos um fluxo de análise com um painel dinâmico do Power BI, conectando o modelo 3D aos dados paramétricos em análise. Com essa abordagem, conseguimos avaliar nossos modelos com base em diversas métricas, incluindo a conformidade com modelos de referência, preenchimento de parâmetros, mapeamento IFC, categorias, codificações de orçamento e planejamento, entre outros critérios. Ao compararmos o processo tradicional realizado com o Navisworks com o processo que utiliza o painel do BI, fica evidente a significativa diferença em termos de interatividade e dinamismo. Além disso, o uso dessa ferramenta nos permitiu duplicar a velocidade de análise dos projetos, ampliar a complexidade das análises e aprimorar a precisão dos modelos. Uma vez que esse processo não depende mais de verificações manuais realizadas pelos coordenadores, essa metodologia possibilita um controle abrangente de todos os parâmetros do projeto.

1. Introdução

Manziona [1] delinea que a gestão do processo de projeto implica na coordenação de ações voltadas para a qualidade tanto do projeto quanto de seus produtos. Nesse sentido, o processo de coordenação de projetos requer uma definição precisa, um planejamento meticuloso, uma execução controlada e organizada em uma sequência de atividades associadas a instrumentos de controle específicos, orientados para alcançar objetivos preestabelecidos. Esta abordagem estruturada propicia a integração efetiva e a otimização das fases do projeto, contribuindo para o alcance bem-sucedido de suas metas. Quanto à definição de Nóbrega Júnior [2], a coordenação de projetos abarca responsabilidades em duas áreas distintas. A primeira refere-se à gestão do processo de projeto, que engloba atividades como planejamento e controle. A segunda área compreende a coordenação técnica do projeto, envolvendo a condução de reuniões, análises críticas, compatibilizações e apresentação de sugestões técnicas. No que concerne à visão de Melhado [3], a coordenação de projetos é delimitada como uma atividade de suporte ao desenvolvimento do projeto, focada na integração dos requisitos e das decisões de projeto.

Diante da complexidade na gestão de projetos, os modelos BIM (*Building Information Modeling*) assumem um papel relevante. Segundo a definição de Eastman [4], esses modelos representam virtualmente com precisão uma edificação, construídos digitalmente, incorporando não apenas a geometria exata, mas também dados pertinentes para sustentar a construção, fornecimento de insumos e gestão ao longo do ciclo de vida da edificação. Dessa forma, os modelos BIM transcendem a mera representação 3D, incorporando informações cruciais para criar, modificar, compartilhar e coordenar no processo de projeto, desde a concepção até a gestão e operação do edifício.

Diante dessas reflexões, os modelos BIM ganham destaque devido à sua capacidade de enriquecer as informações disponíveis nos projetos, proporcionando aprimoramento na fase de *design*. Conforme destacado por Bomfim [5], a etapa de projeto é crucial para equacionar as decisões de maior impacto na obra de maneira mais eficaz. A aplicação da metodologia BIM oferece a vantagem de ampliar o controle durante a fase de projetos, uma vez que os modelos digitais são capazes de simular o ciclo de vida de diversas formas, construindo uma base de dados robusta. No entanto, essa ampliação, ao fortalecer a capacidade de antecipar questões de projeto, também introduz uma considerável complexidade. Esse aumento na complexidade sublinha a necessidade de uma gestão de projetos mais criteriosa, focada na monitorização e validação eficientes desses modelos virtuais.

2. Justificativa e motivação

Reconhecendo a importância de uma gestão eficiente no processo de projeto, aliada à complexidade inerente ao uso de modelos BIM nesse contexto, é imprescindível assegurar a qualidade das informações durante todo o ciclo de vida do projeto de construção. Frequentemente, o tempo investido em verificações torna-se excessivamente

longo e pouco eficaz, especialmente no que se refere à abrangência integral dos modelos. A abordagem de verificação, muitas vezes é baseada em amostragem, carece da amplitude necessária para proporcionar uma visão global do modelo, essencial para orientar as decisões no processo de projeto. O emprego de ferramentas tradicionais, como Navisworks, tabelas e listas de verificação, embora eficaz em determinados casos, demonstrou-se impreciso e demorado, resultando na negligência de partes dos itens.

Diante desse cenário, surge a questão de como otimizar nosso método de análise, garantindo a cobertura completa de todos os elementos incorporados nos modelos, sem comprometer os prazos do projeto. Em resposta a esse desafio, desenvolvemos uma metodologia de análise, adotando um painel dinâmico do Power BI (*Business intelligence*) que integra dados paramétricos às informações do modelo 3D. Essa abordagem visa superar as limitações das técnicas tradicionais, proporcionando uma análise mais precisa, dinâmica e abrangente. Buscamos, assim, não apenas acelerar o processo de verificação, mas também dotar o processo de projeto de uma ferramenta que ofereça maior controle, interatividade e suporte às decisões, alinhando-se às demandas da gestão eficiente do processo de projeto.

3. Objetivos gerais e específicos

Objetivo geral: Desenvolver uma ferramenta de análise baseada em um painel dinâmico do Power BI, conectando dados paramétricos às informações do modelo 3D, com o propósito de otimizar a verificação e garantir a qualidade das informações ao longo do ciclo de vida de projetos de construção. Esta ferramenta busca alinhar-se às demandas da construção civil, aproveitando as potencialidades dos modelos BIM e da tecnologia do Power BI.

Objetivos específicos:

- Acelerar o processo de análise, superando as limitações das abordagens tradicionais de verificação manual.
- Ampliar a cobertura de elementos no modelo, garantindo uma visão global e abrangente.
- Proporcionar maior controle e interatividade, apoiando decisões durante o processo de projeto.
- Aprimorar a validação de processos BIM, aumentando a eficiência na verificação e assegurando a conformidade de informações críticas.
- Desenvolver uma metodologia replicável, adaptável a diversos objetivos de projeto e BIM, conferindo versatilidade e aplicabilidade em diferentes cenários e demandas.

4. Metodologia

Aqui será apresentada a metodologia de estruturação do fluxo de elaboração do painel dinâmico do Power BI. O procedimento abarca a coleta de dados (*inputs*), o desenvolvimento do painel no BI e, por fim, a obtenção dos resultados (*outputs*) na análise de projetos.

Figura 1
Fluxo de elaboração do painel dinâmico de Power BI.



4.1. Inputs

Os inputs compreendem as informações necessárias para a elaboração do painel de BI, alguns dos dados a serem considerados incluem:

- a) **Requisitos do cliente:** Refere-se às informações demandadas pelo cliente ou às suas expectativas em relação ao projeto;
- b) **Estrutura Analítica do Projeto (EAP):** Representação hierárquica das entregas e atividades do projeto e auxilia na identificação e organização dos elementos que precisam ser controlados e avaliados.
- c) **Usos do BIM:** são propósitos específicos para os quais a metodologia BIM é empregada em um projeto. Essa definição inicial fornece clareza sobre os itens a serem entregues e as informações necessárias para desenvolver os modelos, orientando o processo desde a fase inicial até a finalização do projeto. Guias como o da Pennsylvania State University [6] apresentam diretrizes específicas para a implementação dos Usos do BIM, garantindo alinhamento com os objetivos do projeto.
- d) **Modelo Federado:** Constitui-se como um conjunto de modelos BIM provenientes de diversas disciplinas, nos quais os dados do projeto são armazenados, agrupados e integrados em um formato de banco de dados. Isso facilita o acesso, colaboração e visualização abrangente das informações. A federação do modelo foi executada por meio do Navisworks, utilizando um arquivo no formato .nwd. Esse modelo 3D apresenta uma visualização leve, possibilitando a conexão da visualização tridimensional aos dados do Painel BI.

O coordenador BIM deve identificar os parâmetros que exigem controle, que vão desde a atribuição de nomenclatura dos elementos, codificação para identificação, códigos de orçamento, campos de quantificação, dados de gerenciamento de ativos, entre outros. Ao realizar essa identificação, o coordenador pode deparar-se com informações que não estão em conformidade, tornando-as ideais para inclusão no controle de qualidade.

PROJETISTA RESPONSÁVEL	ITEM	DESCRIÇÃO	TIPO DE IFC	SH_NOME_ELEMENTO
AQ	REVESTIMENTO DE FORROS	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	IfcCovering; IfcSlab	FRRXX
AQ		EMBOÇO DESEMPENADO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA CIMENTO, CAL E AREIA 1:3/12	IfcCovering; IfcSlab	FRRXX
AQ		REBOCO INTERNO - ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA	IfcCovering; IfcSlab	FRRXX
AQ	REVESTIMENTO DE PAREDES INTERNAS	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		EMBOÇO INTERNO - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:4/12	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		EMBOÇO INTERNO DESEMPENADO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:3/12	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		EMBOÇO INTERNO - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		REBOCO INTERNO - ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		REVESTIMENTO COM GESSO	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		AZULEJOS, JUNTA AMARRAÇÃO OU A PRUMO - ASSENTES COM ARGAMASSA COLANTE	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		CHAPISCO RÚSTICO FINO, APLICADO COM PENEIRA - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		CHAPISCO RÚSTICO GROSSO, COM ADIÇÃO DE BRITA N.1	IfcWall; IfcCovering	REVXX
AQ		EMBOÇO EXTERNO - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:4/12	IfcWall; IfcCovering	REVXX

Figura 2
Tabela de requisitos de informações de projeto de Habitação de Interesse Social da SEHAB com disciplina responsável, tipo de item, descrição, tipo de mapeamento IFC e código de cada elemento.

Após essa etapa, é essencial estabelecer o nível de compreensão visual do painel de BI, criando regras condicionais para identificar parâmetros não preenchidos ou preenchidos de acordo com os documentos do projeto, plano de execução BIM, checklist de projeto, padronização do *template*, critério de orçamentação e outros documentos utilizados para detectar inconsistências ou validar o modelo.

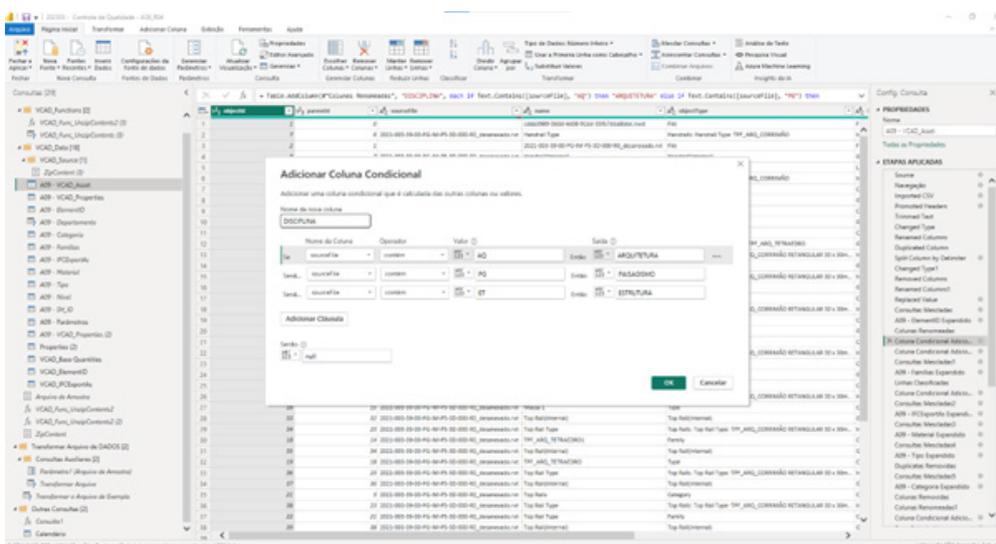


Figura 3
Interface do Power BI com aplicação de regras.

4.2. Modelo federado

O modelo tridimensional integrado ao Microsoft Power BI é derivado de um modelo federado, um modelo abrangente que fornece informações de coordenação entre disciplinas, e é construído no Navisworks. Embora o modelo possa aceitar vários formatos de arquivo, para ilustrar o processo, serão considerados dois formatos principais: .rvt (Autodesk Revit) e .ifc (Industry Foundation Classes).

Figura 4
Fluxo de elaboração de um modelo federado no Autodesk Navisworks.



4.3. Desenvolvimento do Painel BI

O Painel BI viabiliza a visualização e análise dos dados do projeto, oferecendo dados cruciais para embasar a tomada de decisões. Sua elaboração envolve o processamento dos dados do modelo, possibilitando a seleção dos parâmetros essenciais para avaliação, além da criação de regras condicionais para identificar os elementos com inconsistências.

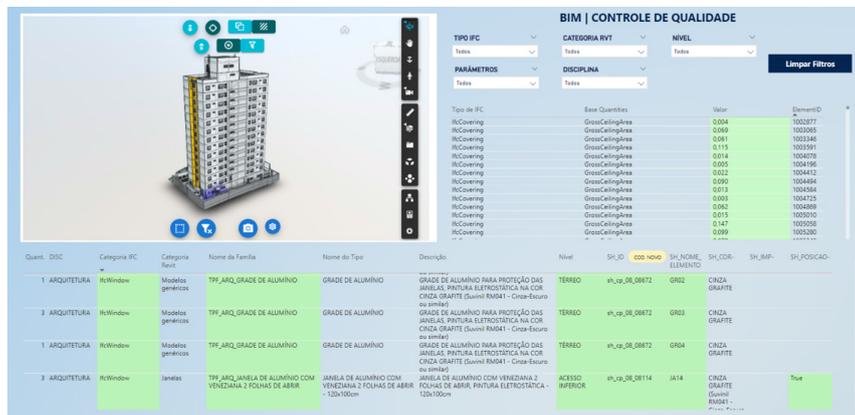
A integração entre o BIM e o Power BI permite visualizar os modelos nos painéis, extrair informações como banco de dados (suportando formatos como .ifc, .rvt e .nwd) e criar painéis interativos para análises mais detalhadas e informadas. Essa integração aprimorada possibilita a criação de painéis personalizados, proporcionando insights valiosos para uma análise mais completa e fundamentada, conduzindo a verificações abrangentes tanto por disciplina, quanto de maneira global.

4.4. Outputs

O resultado do processo de controle de qualidade é o painel de BI concluído, proporcionando informações claras e acessíveis sobre a qualidade do projeto. Esse painel pode integrar gráficos, tabelas e outros elementos visuais que simplificam a interpretação dos dados.

Com o uso desta ferramenta, o coordenador BIM pode centralizar de maneira eficaz todas as informações relevantes, oferecendo uma visão abrangente da estrutura de dados. Além disso, desempenha um papel crucial ao auxiliar o projetista na identificação de pontos de atenção e na correção ou complementação necessária para concluir o modelo.

Figura 5
Painel desenvolvido para validação de Habitação de Interesse Social para SEHAB.



Na Figura 5, é possível observar a presença de filtros, permitindo o isolamento de elementos quando necessário. As células destacadas em vermelho indicam áreas que precisam de correção para cumprir as regras dos parâmetros associados no desenvolvimento do painel, enquanto as células em verde já estão em conformidade. Na imagem acima, não foram identificadas áreas não conformes. Os objetos que necessitam de informações adicionais são facilmente identificados no ambiente tridimensional e pelo Element ID.

Ao aplicar essa metodologia, é inevitável a necessidade de realizar múltiplas atualizações no arquivo federado. Essas atualizações têm como objetivo verificar novos elementos, confirmar ajustes nas informações do modelo, garantir a validação contínua e o aprimoramento do projeto. Além disso, pode ser necessário incorporar outros botões ou filtros para atender às demandas específicas do processo.

5. Estudo de caso: SEHAB

Aqui, apresentaremos um caso prático em que o painel de controle de qualidade foi aplicado para gerenciar questões de qualidade e coordenação BIM. A implementação desta metodologia ocorreu em quatro edifícios de Habitação de Interesse Social para a Secretaria de Habitação de São Paulo (SEHAB). A área total desses quatro edifícios é de aproximadamente 28.000,00 m², abrangendo cerca de 320 unidades. As disciplinas de projeto analisadas incluíram arquitetura, paisagismo, comunicação visual, terraplanagem, estrutura, hidrossanitário e elétrica. Os usos do BIM abrangem coordenação 3D, compatibilização, quantificação e orçamentação.

Como Inputs, tínhamos os requisitos do cliente, que incluíam uma lista de parâmetros para quantitativos, orçamento e requisitos de exportação IFC. Para atender a esses requisitos, foram desenvolvidos *templates* que continham objetos com uma padronização e critérios de modelagem. Esses *templates* visavam fornecer modelos que atendessem aos critérios solicitados.

O fluxo de trabalho teve início com o planejamento e elaboração do plano de execução BIM, onde todos os documentos com requisitos do cliente e estratégias de modelagem foram especificados. Em seguida, foram criados os templates das disciplinas com os parâmetros nativos e não-nativos de cada item. O próximo passo foi o preenchimento das informações e a exportação dos modelos no formato IFC para a criação do modelo federado. Por fim, foi implementado o painel de controle de qualidade do BI. Esse painel proporcionou relatórios de controle de qualidade para a equipe de projetos, apresentados pela coordenação, e serviram como suporte para a complementação ou correção desses modelos.

Figura 6

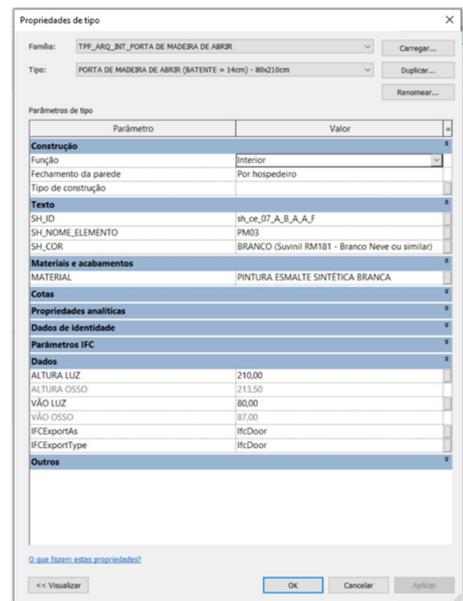
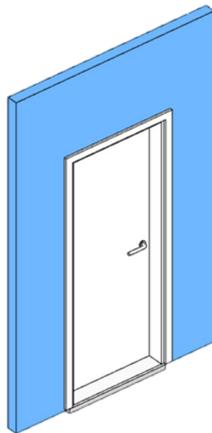
Tabela de requisitos de quantificação e orçamentação de cada modelo fornecida pelo cliente.

PROJETISTA RESPONSÁVEL	ITEM	SH_ID (CÓDIGO BEHAB)	DESCRIÇÃO	ORIGEM	REFERENCIA	DATA BASE	UNIDADE	TIPO DE IFC	SH_NOME_ELEMENTO
AG	REVESTIMENTO DE FORROS	WR_02_11_01_09	EMBOÇO DESEMPENHO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA CIMENTO, CAL E AREIA 1:3:12	EDIF	11.01.09	jan20	M2	IFCcovering_IB_Slab	FRV0X
AG		WR_02_11_01_13	REBOCO INTERNO - ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA	EDIF	11.01.13	jan20	M2	IFCcovering_IB_Slab	FRV0X
AG		WR_02_11_02_01	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11.02.01	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_02_06	EMBOÇO INTERNO - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:4:12	EDIF	11.02.06	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_02_09	EMBOÇO INTERNO DESEMPENHO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:3:12	EDIF	11.02.09	jan20	M2	IFCcovering	REV0X
AG	REVESTIMENTO DE PAREDES INTERNAS	WR_02_11_02_10	EMBOÇO INTERNO - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11.02.10	jan20	M2	IFCcovering	REV0X
AG		WR_02_11_02_13	REBOCO INTERNO - ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA	EDIF	11.02.13	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_02_15	REVESTIMENTO COM GESSO	EDIF	11.02.15	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_02_29	ALU.F.JUNTA AMASSAÇÃO OU A PRIMO - ASSENTES COM ARGAMASSA COLANTE	EDIF	11.02.29	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_03_01	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11.03.01	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_03_03	CHAPISCO RUSTICO FINO APLICADO COM PENEIRA - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11.03.03	jan20	M2	IFCcovering	REV0X
AG		WR_02_11_03_04	CHAPISCO RUSTICO GROSSO, COM ADIÇÃO DE BRITA N.1	EDIF	11.03.04	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_03_06	EMBOÇO EXTERNO - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:4:12	EDIF	11.03.06	jan20	M2	IFCwall	REV0X
AG		WR_02_11_03_09	EMBOÇO EXTERNO DESEMPENHO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA 1:3:12	EDIF	11.03.09	jan20	M2	IFCcovering	REV0X

Na Figura 6, os itens estão categorizados por disciplinas, identificando os "PROJETISTAS RESPONSÁVEIS", seguidos pela especificação do macro item "ITEM", o código de orçamento "SH_ID" que será inserido em cada objeto, a descrição do elemento a ser orçado, a origem relacionada ao índice da construção civil utilizado para o orçamento "ORIGEM", o código original do elemento ("REFERÊNCIA"), a data da consulta ("DATA BASE") e a unidade de medida ("UNIDADE"). Adicionalmente, são apresentados o tipo de IFC a ser mapeado na exportação dos modelos e o código de identificação do elemento "SH_NOME_ELEMENTO".

Figura 7

Porta modelada no *template* da disciplina de arquitetura, com parâmetros de SH_ID, SH_NOME_ELEMENTO e SH_COR preenchidos e o mapeamento do tipo de IFC.



Na Figura 7, exemplifica-se a inclusão dos parâmetros de requisitos de orçamento em uma porta do *template* de arquitetura (SH_ID, SH_NOME_ELEMENTO e SH_COR), juntamente com seu preenchimento correspondente. Além disso, podemos observar o mapeamento do tipo de IFC nos campos *IFCExportAs* e *IFCExportType*, onde a categoria Revit de porta está mapeada para a categoria *IfcDoor*. Além de atender a esses requisitos, foi fundamental adaptar a modelagem de cada objeto à unidade de medida para quantificação.

Na tabela a seguir, serão apresentados todos os parâmetros que foram inseridos nos elementos modelados e posteriormente verificados pelo Painel de Controle de Qualidade do Power BI.

Tabela 1: Requisitos de informações dos modelos

Requisitos de padronização do <i>Template</i> e modelagem	Requisitos de informação para orçamento
Nome da família	SH_ID
Nome do Tipo	SH_NOME ELEMENTO
Descrição	SH_IMP
Nível	SH_COR
Categoria Revit	SH_POSIÇÃO
Disciplina	CATEGORIA IFC

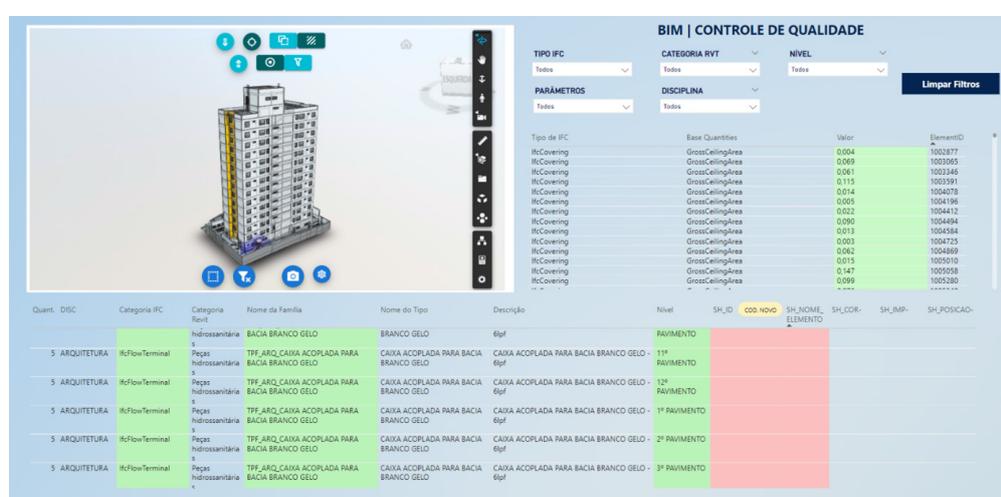


Figura 8
Painel BI com áreas não conformes destacadas em vermelho.

Na Figura 8, encontram-se no topo os filtros aplicáveis, incluindo categorias como IFC, Revit, nível associado ao elemento, parâmetros dos modelos e disciplina. Esses filtros permitem isolar partes específicas do modelo durante a análise. Logo abaixo, são apresentados os parâmetros relacionados às quantidades extraídos dos IFC e o Element ID, utilizado para localizar cada item nos modelos, cada elemento modelado recebe um número único de identificação automaticamente pelos softwares de modelagem.

Na seção seguinte, são exibidos os parâmetros de requisitos de informação verificados que foram citados na Tabela 1, sendo que cada um deles possui uma regra associada que destaca em vermelho em caso de não conformidade. No exemplo dado na figura 8, a não conformidade destacada em vermelho poderia ser a regra de grafia do código, ou, como neste caso específico, a falta de preenchimento dos parâmetros de orçamento SH_ID e SH_NOME ELEMENTO. Para corrigir, o modelador deve inserir as informações necessárias, exportar novamente os modelos nativos para IFC e iniciar um novo ciclo de verificação.

Figura 9

Painel de Controle de Qualidade, com não conformidade na *base quantities* de *IfcCovering* em vermelho.



Na figura 9, destaca-se em vermelho uma verificação da *base quantities* das paredes de revestimento. Nesse caso, a marcação em vermelho indica que a quantidade foi detectada como zero. Sempre que uma quantidade é marcada como zero, a célula correspondente é realçada em vermelho. Isso ocorre porque, embora a geometria esteja representada no modelo, as quantidades associadas estão zeradas, o que requer correção na modelagem e uma nova exportação do arquivo IFC por parte do projetista. Essas quantidades são essenciais para o processo de orçamentação (5D) que será realizado através dos IFCs verificados.

Segundo a *BuildingSMART* [7], a *base quantities* representam um conjunto de definições de grandezas. Elas determinam os valores brutos e líquidos para os objetos, como altura, comprimento, área, volume, entre outros, independentemente de qualquer método específico de medição. Essas quantidades desempenham um papel crucial na medição precisa da geometria de um elemento. Além disso, os elementos podem ser categorizados em subtipos de acordo com seu *IfcElement*, que se refere às classes específicas de cada objeto, como *IfcWall* para paredes, *IfcDoor* para portas, etc.

Após a implementação do painel, constatou-se ganhos significativos, como uma maior interatividade e dinamismo na validação dos elementos. A capacidade de ampliar a complexidade das análises, abrangendo todos os itens dos modelos, resultou em um aumento substancial na precisão e confiabilidade dos dados. Em relação a produtividade, foi possível duplicar a velocidade de validação dos dados.

6. Conclusão

A implementação bem-sucedida do painel de controle de qualidade utilizando a metodologia desenvolvida alcançou os objetivos estabelecidos. Conseguiu-se acelerar significativamente o processo de análise, superando as limitações das abordagens tradicionais. A ampliação da cobertura de elementos no modelo proporcionou uma visão global e abrangente, enquanto a maior interatividade ofereceu suporte às decisões durante o processo de projeto.

A metodologia contribuiu para aprimorar a validação de processos BIM, aumentando a eficiência na verificação e garantindo a conformidade de informações críticas. Além disso, ao desenvolver uma metodologia replicável, adaptável a diversos

objetivos de projeto e BIM, conferiu versatilidade e aplicabilidade em diferentes cenários e demandas.

É fundamental destacar que o sucesso dessa implementação permitiu a replicação do processo em outros projetos, sendo devidamente documentado em formato de manual e vídeos explicativos para disseminação efetiva na empresa. Essa abordagem pretende impactar positivamente a gestão de projetos, oferecendo uma solução eficaz e escalável para a otimização do ciclo de vida dos projetos de construção.

Para o futuro, estamos planejando explorar mais os padrões abertos, não apenas utilizando o PEB para especificar os requisitos do IFC, mas também empregando arquivos IDS (Information Delivery Specification). Segundo a *BuildingSMART* [8], este formato de arquivo é composto por um esquema .xml que define os requisitos para a troca de modelos, incluindo seus objetos, classificações, propriedades e valores de troca. O painel BI pode servir como uma interface que permite aos projetistas e gerentes BIM validar visual e dinamicamente os objetos que atendem aos requisitos especificados em um arquivo IDS nos IFCs, aprimorando nossas práticas de colaboração e interoperabilidade no campo da modelagem de informações da construção.

Referências

- [1] L. Manzione, S. Melhado, C.L. Nóbrega, “BIM e Inovação em gestão de projetos”, 1.ª ed. Rio de Janeiro, Brasil, 2021.
- [2] C.L. Nóbrega “Coordenador de projetos de edificações: estudo e proposta para perfil, atividades e autonomia”, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2012.
- [3] S. Melhado, “Coordenação de projetos de edificações”. São Paulo, Brasil.
- [4] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM : Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Hoboken, NJ.: Wiley, 2014.
- [5] C. A. A. Bomfim, B. T. W. Lisboa, P. C. C. Matos. “Gestão de Obras com BIM – Uma nova era para o setor da Construção Civil”, Buenos Aires, Argentina.
- [6] J. Messner, C. Anumba, C. Dubler; S. Goodman C. Kasprzak R. Kreider; R. Leicht C. Saluja, N. Zikic, “BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.2” Versão 2.2 Pensilvânia, Estados Unidos, 2019.
- [7] BuildingSMART. (2023). “IfcElementQuantity.” Standards BuildingSMART. [Online]. Disponível: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcelementquantity.htm
- [8] BuildingSMART. (2024). “Information Delivery Specification IDS”. [Online]. Disponível: <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>

Verificação da conformidade dos dados de projectos de construção com *Linked Data*

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.4>

**Marin Ljuban^{1,2}, Mathias Bonduel²,
José Carlos Lino¹**

¹ *ISISE – Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho*

² *Neanex Technologies, Antwerp, Belgium*

marin.ljuban@gmail.com

mathias.bonduel@neanex.com

jclino@civil.uminho.pt

Resumo

O sector da construção tem assistido nos últimos anos a uma tendência crescente para a digitalização, resultando num aumento substancial de dados. No entanto, estes dados tendem a ser segregados em sistemas e formatos de ficheiros específicos, o que dificulta a criação de uma representação abrangente do ativo construído. Uma solução potencial para colmatar a lacuna entre estes diversos modelos de dados é a aplicação dos princípios de *Linked Data*. A utilização de *Linked Data* leva à criação de uma representação estruturada e explícita do conhecimento, permitindo a verificação da conformidade dos dados provenientes de várias fontes. Apesar do seu potencial, a escalabilidade da aplicação de *Linked Data* no domínio da construção tem sido impedida pela ausência de diretrizes de modelação claras. Estas diretrizes foram oficialmente introduzidas em 2022 com a norma EN 17632-1:2022: *Building Information Modelling (BIM) – Semantic Modelling and Linking (SML)*. Esta norma define um modelo de informação de alto nível e um conjunto de padrões genéricos de modelação da informação. Dado que o esquema de dados *Industry Foundation Classes (IFC)* é um esquema largamente utilizado ao longo do ciclo de vida de um ativo construído e normalizado a nível internacional (ISO 16739-1:2018), este estudo examinará e demonstrará o processo de alinhamento do IFC com as orientações descritas na norma EN 17632. Além disso, estabelecerá uma ligação entre o IFC e o modelo de informação de alto nível, conforme especificado pela norma EN 17632. Por último, o estudo analisa o potencial de verificação da conformidade quando se trata de conjuntos de dados IFC convertidos.

1. Introdução

O *Building Information Modelling* (BIM) é uma metodologia que digitaliza o sector da construção, ajudando-o a passar de um sector ineficiente e fragmentado para um mais eficiente. Isto deverá permitir poupanças na fase de projeto, construção e operação de um ativo construído. No entanto, para colher plenamente os benefícios do BIM, é importante considerar quais os casos de uso com interesse comercial para os investidores, que os incentivariam a prescrever a utilização do BIM nos seus projetos.

A tónica deve ser colocada em soluções tecnológicas que utilizem normas abertas e sejam fáceis de utilizar, bem como suficientemente flexíveis para permitir a aplicação em muitos casos de uso diferentes a nível internacional, nacional e municipal. Uma abordagem cada vez mais popular é a utilização de *Linked Data*. A utilização de *Linked Data* está a ganhar força, mas ainda sofre de uma falta de normalização na sua aplicação. Um desses esforços de normalização ganhou reconhecimento oficial através da introdução da norma EN 17632-1:2022: *Building Information Modelling (BIM) – Semantic Modelling and Linking (SML)*. Esta norma define um modelo de informação de alto nível, bem como um conjunto de padrões genéricos de modelação da informação que visam ajudar as organizações a aplicar os princípios do *Linked Data* no ambiente construído.

Devido à sua relativa novidade, tanto quanto é do conhecimento dos autores, até à data não foi feita qualquer tentativa de investigar as possibilidades de ligar esta norma recém-publicada à norma aberta mais amplamente utilizada na construção, a *Industry Foundation Classes* (IFC), reconhecida internacionalmente como ISO 16739-1:2018.

Por conseguinte, este documento começará por apresentar as partes do IFC e os princípios de *Linked Data*. Posteriormente, será apresentado um enquadramento teórico que permitirá a ligação entre o IFC e o modelo de informação de alto nível EN 17632. Na etapa seguinte, o enquadramento teórico será aplicado na prática através da criação de uma *Object Type Library* (OTL) e da estruturação de dados de projetos de teste, provenientes de um ficheiro IFC exemplo, em conformidade com esta OTL recém-criada. Por fim, o artigo será concluído com uma síntese dos resultados.

2. Estado da Arte

2.1. *Industry Foundation Classes*

A complexidade do *Building Information Modelling* torna improvável a utilização de uma única ferramenta ao longo do ciclo de vida do ativo. Pelo contrário, é mais provável que o modelo BIM seja desenvolvido e utilizado por várias ferramentas com objetivos diferentes. Para garantir fluxos de informação simplificados, a indústria sentiu a necessidade de um esquema de dados aberto e neutro em termos de fornecedores. O alinhamento das necessidades de todas as partes interessadas é um

processo muito difícil. O esforço mais notável para essa normalização foi feito com a introdução das *Industry Foundation Classes* (IFC), um modelo concetual de informação (esquema) atualmente utilizado para o intercâmbio de informações. O IFC tem estado em desenvolvimento contínuo desde 1994, sendo as versões mais notáveis o IFC 2x3 e o IFC 4, que ganharam reconhecimento internacional através da normalização ISO. Atualmente, o esquema IFC 4.3 aguarda a aprovação da normalização ISO, enquanto que o IFC 4.4.0 irá alargar o IFC 4.3 com funcionalidades adicionais, principalmente para túneis [1].

Tecnicamente, o esquema IFC é descrito na linguagem EXPRESS, o que significa que adota os seus princípios orientados para os objetos, como a abstração e a hereditariedade. Os conjuntos de dados IFC, aplicando o esquema IFC, podem ser serializados em vários formatos diferentes, sendo o mais utilizado o IFC-STEP [2]. No entanto, para este caso de uso, as serializações de *Linked Data* do IFC são as mais importantes, permitindo a utilização do IFC em aplicações de *Linked Data*. O EXPRESS para modelos de informação concetual e a serialização STEP para conjuntos de dados limitam a expressividade e a capacidade de ligar dados BIM a outros dados em formatos de dados heterogéneos. O IfcOWL é uma tentativa de ultrapassar estas limitações através da tradução direta do esquema IFC para formato *Linked Data*. As versões oficiais IFC 2x3 e IFC 4 da IfcOWL foram disponibilizadas utilizando a ferramenta EXPRESS-toOWL [3]. Esta investigação utiliza a versão oficial IFC 4 ADD2 TC1 IfcOWL [4] que contém 1798 classes.

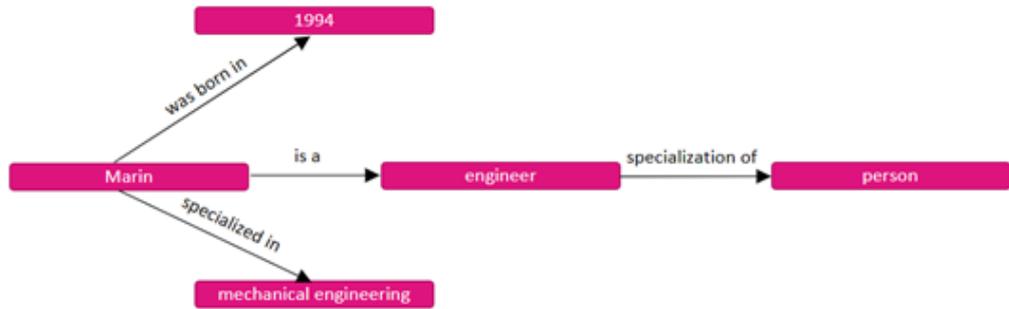
2.2. *Linked Data*

A *World Wide Web* pode ser considerada como uma camada adicional no topo da Internet que tem por objetivo organizar as formas como os dados são estruturados e partilhados para melhorar a interoperabilidade [5]. A principal organização que desenvolve estas normas Web é o *World Wide Web Consortium* (W3C), sendo que as suas principais normas preconizam:

Modelação de dados – Um grande desafio da interoperabilidade é garantir que os dados são trocados através de um modo comum de representação da informação [6]. Para o conseguir, no mundo do *Linked Data* existem várias formas de modelação de dados. A recomendada pelo W3C é o Resource Description Framework (RDF), que especifica que todas as coisas que podem ser descritas são recursos e que uma relação entre dois desses recursos é designada por *triple*. Trata-se de um simples gráfico de modelo de dados. Cada *triple* é constituído por três partes: um sujeito, um predicado e um objeto (Figura1).

Figura 1

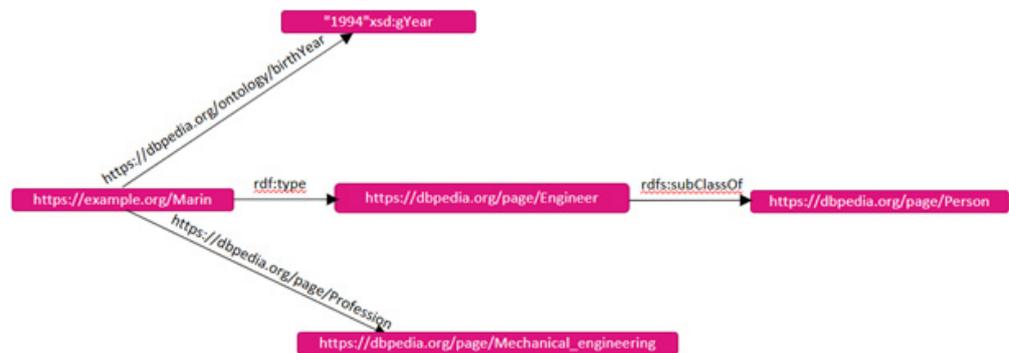
Representação do conhecimento através de tripletos.



Semântica – Depois de se chegar a uma forma comum de representação da informação, recomenda-se que se assegure que os dados sejam também compreensíveis por máquinas. Por conseguinte, é necessário estabelecer um quadro terminológico partilhado para garantir que os conceitos sejam compreendidos por todos os intervenientes de forma inequívoca. Isto é normalmente feito através da criação de modelos conceptuais de informação, frequentemente designados por "ontologias". Uma ontologia é definida como "uma especificação formal e explícita de uma conceptualização partilhada", o que significa que é um modelo legível por máquina, normalizado e explicitamente definido de algum fenómeno [7]. Com base em linguagens ontológicas genéricas como SKOS, RDFS, OWL e SHACL, qualquer ocorrência no mundo pode ser adequadamente representada através da criação de uma ou mais ontologias. O mesmo conhecimento da Figura 1 é representado na Figura 2, mas utilizando conceitos acordados para termos comuns, incluindo conceitos (engenheiro, pessoa), propriedades (ano de nascimento, tipo de recurso, especialização) e até tipos de dados (ano). Os URL habitualmente utilizados podem ser encurtados substituindo-os por prefixos (por exemplo, <https://dbpedia.org/ontology/> pode ser encurtado para dbp).

Figura 2

Representação do conhecimento utilizando ontologias comumente aplicadas.



Consulta - Depois de uma certa quantidade de dados ser convertida numa representação de *Linked Data* aplicando conceitos definidos em ontologias, esta seria inútil sem a possibilidade de aceder a essa informação quando necessário. Para garantir isso, foi criada uma linguagem de consulta chamada "SPARQL Protocol and RDF Query Language" (SPARQL). Uma consulta típica especifica quais as variáveis a obter e o que fazer com elas, utilizando palavras-chave como SELECT, CONSTRUCT ou INSERT, embora existam partes adicionais que podem refinar a consulta. Uma consulta

SPARQL simples que recupera o ano de nascimento do recurso das figuras 1 e 2 é apresentada na Figura 3.

```
prefix dbp: <https://dbpedia.org/ontology/>
prefix ex: <https://example.org/>

select ?birthYear where {
    ex:Marin dbp:birthYear ?birthYear .
}
```

Figura 3
Consulta SPARQL
para obter o ano de
nascimento.

Validação - As linguagens ontológicas comumente utilizadas, como OWL ou RDFS, partem do pressuposto de mundo aberto (Open World Assumption – OWA) e do pressuposto de ausência de nome único (No Unique Name Assumption – NUNA), o que dificulta a verificação dos conjuntos de dados quanto à existência de determinados elementos ou propriedades. Para facilitar a verificação da conformidade, é utilizada a SHACL (Shapes Constraint Language) do W3C. A SHACL assume o pressuposto de mundo fechado (Closed World Assumption – CWA) e o pressuposto de nome único (Unique Name Assumption – UNA), permitindo uma criação mais simples de dados que prescrevem qual deve ser a estrutura de um conjunto de dados ou quais as propriedades necessárias para que os conjuntos de dados cumpram determinados requisitos.

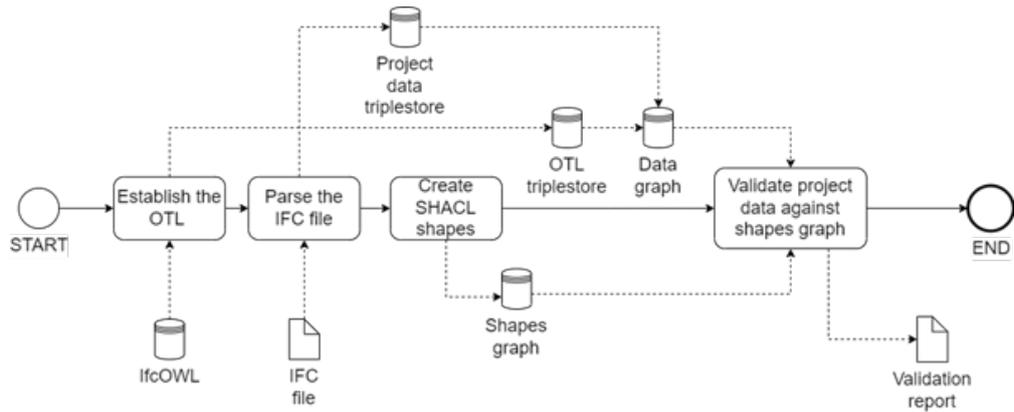
Para aplicar o *Linked Data* no contexto do ambiente construído, foi publicada a norma europeia EN 17632-1:2022 (*Semantic Modelling and Linking – SML*). Esta norma aborda "a interoperabilidade semântica e sintática para a informação que descreve os ativos que passam pelo seu ciclo de vida no ambiente construído". A especificação tem quatro partes normativas, quatro partes informativas e quatro exemplos (duas pontes, uma rede rodoviária e um hospital), para além da parte textual. A combinação destas duas normas (IFC e EN 17632) resultará numa *Object Type Library* (OTL) que aplica a SML como ontologia de nível superior. A biblioteca de tipos de objetos, tal como definida na plataforma *Linked Data Nederland*, "é uma biblioteca com nomes de tipos de objetos normalizados (por exemplo, estrada, viaduto) e propriedades ou especificações" [8]. É frequentemente considerada um tipo específico de ontologia, contendo a maior parte dos tipos e propriedades de objetos específicos de um domínio.

3. Enquadramento teórico e prova de conceito

A primeira parte do fluxo de trabalho é a criação de um IFC-OTL em conformidade com a norma SML. Esta OTL será criada ligando o modelo de informação de alto nível (ontologia) da norma EN 17632 com os conceitos adequados do IFC (serializados em IfcOWL). A OTL será então instanciada ao nível do projeto, analisando ficheiros IFC específicos (conjuntos de dados). Estes dados serão então testados quanto à sua conformidade, validando-os em relação às restrições armazenadas num gráfico de formas separado e expressas através da SHACL. A Figura 4 apresenta uma visão geral de alto nível do fluxo de trabalho.

Figura 4

Visão geral de alto nível do fluxo de trabalho proposto.



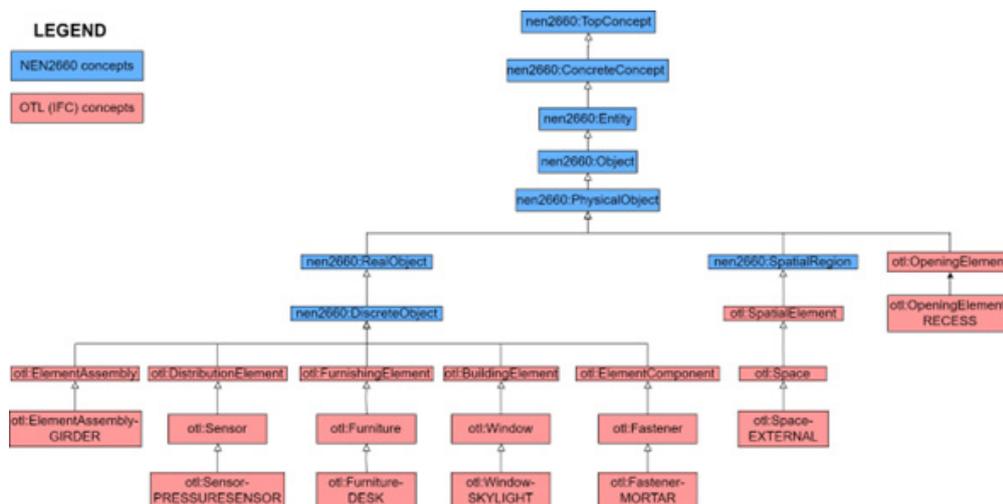
Uma vez que o esquema IFC é grande e complexo, esta investigação fará as seguintes simplificações:

- Apenas um subconjunto do esquema será considerado - O foco atual está nos elementos físicos (subclasses de `IfcBuildingElement`, `IfcDistributionElement`, `IfcFurnishingElement` e `IfcElementComponent`), aberturas (subclasses de `IfcOpeningElement`) e elementos espaciais (subclasses de `IfcSpatialElement`). Estes serão considerados e expressos em conformidade com a norma EN 17632, enquanto os restantes não serão tidos em conta.
- Modularização – A parte considerada do IFC será dividida, o que significa que o processo apresentado na Figura 4 será analisado para cada uma das partes que se seguem:
 - Taxonomia – Em primeiro lugar, a taxonomia dos tipos de objetos (por exemplo, parede, porta, etc.) será estabelecida através da consulta ifcOWL ligando as classes e enumerações encontradas aos conceitos definidos na NEN2660.
 - Relações – Para estabelecer as relações entre diferentes recursos ao nível do conjunto de dados em conformidade com a NEN2660, os ficheiros IFC serão analisados e certas relações IFC de interesse (decomposição e contenção espacial) serão substituídas pelos conceitos NEN2660 adequados.
 - Atributos – A ontologia ifcOWL será consultada para obter atributos das classes consultadas na etapa 1. Estes atributos serão anexados às classes recém-criadas, mas através de um padrão alinhado com a norma EN 17632.

3.1. Taxonomia

Para garantir a flexibilidade da OTL, os conceitos IFC serão convertidos em objetos OTL semelhantes (ou seja, `ifc:IfcWindow` será convertido em `otl:Window`), mantendo a ligação aos URIs ifcOWL através do predicado `rdfs:seeAlso`. Serão criados três tipos de classes OTL, mostrando a sua ligação aos conceitos da norma EN 17632 (NEN2660) na Figura 5.

1. Classes IFC genéricas, tais como `otl:BuildingElement`, `otl:SpatialElement`. Estas terão uma ligação direta com os conceitos NEN2660
2. Classes IFC específicas, como `Window` e `Space`, serão criadas na OTL e ligadas como subclasses a conceitos OTL mais genéricos criados no passo 1
3. As especializações das classes IFC, definidas no IFC como enumerações do atributo IFC `PredefinedType`, serão criadas como classes individuais na OTL e ligadas como subclasses às classes criadas na etapa 2 (estando assim indiretamente ligadas aos conceitos mais genéricos da etapa 1).

**Figura 5**

Ligação da EN 17632 (NEN2660) e um excerto dos conceitos OTL (IFC) a um nível taxonómico.

A aplicação da prova de conceito é efetuada carregando o `IfcOWL` versão 4 ADD2 TC1 na ferramenta `Ontotext GraphDB` e consultando-a com `SPARQL`. Esta consulta devolve valores que podem ser visualizados diretamente na ferramenta `GraphDB`, mas também devolvidos como um objeto `JSON` e utilizados diretamente no ambiente de programação em `Javascript`. Foi utilizada a última abordagem: os objetos `JSON` foram devolvidos e analisados. Dependendo se a consulta retorna uma classe IFC com uma enumeração `PredefinedType` ou sem ela, conceitos adequados seriam criados na OTL, como mostra a Figura 6.

```

TERSE TRIPLE LANGUAGE (TTL)

otl:BuildingElement a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf nen2660:DiscreteObject ;
  rdfs:seeAlso ifc:IfcBuildingElement ;
  skos:prefLabel "Building Element"@en .

otl:Covering a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf otl:BuildingElement ;
  rdfs:seeAlso ifc:IfcCovering ;
  skos:prefLabel "Covering"@en .

otl:Covering-INSULATION a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf otl:Covering ;
  rdfs:seeAlso ifc:INSULATION ;
  skos:prefLabel "Covering INSULATION"@en .

otl:SpatialElement a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf nen2660:SpatialRegion ;
  rdfs:seeAlso ifc:IfcSpatialElement ;
  skos:prefLabel "Spatial Element"@en .

otl:Space a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf otl:SpatialElement ;
  rdfs:seeAlso ifc:IfcSpace ;
  skos:prefLabel "Space"@en .

otl:Space-INTERNAL a owl:Class ;
  rdfs:subClassOf otl:Space ;
  rdfs:seeAlso ifc:INTERNAL ;
  skos:prefLabel "Space INTERNAL"@en .

```

Figura 6

Trecho de código mostrando uma parte da OTL.

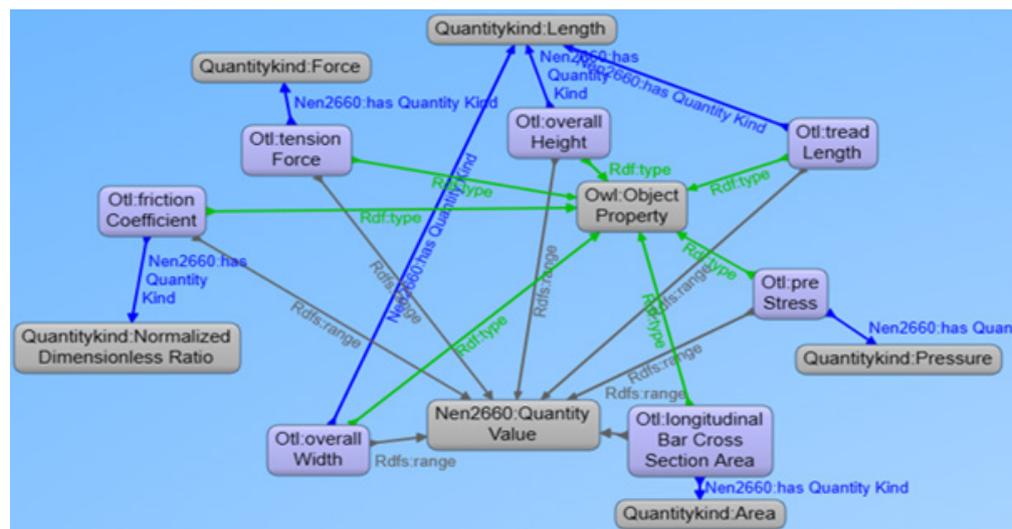
3.2. Atributos

Existem muitas formas de modelar atributos. A modelação mais simples de um atributo é através de owl:DatatypeProperty, também chamado padrão de modelação de nível 1 [9]. Este padrão de modelação é adequado para a modelação de atributos qualitativos (ou seja, cor, id, nome). Para atributos mais complexos, como os atributos quantitativos que consistem num valor e em metadados adicionais, como uma unidade de medida, é necessário um padrão de modelação mais complexo com nós intermédios que separam o valor e a unidade de um atributo complexo, ligando-os ao nó do atributo através dos predicados rdf:hasValue e nen2660:hasUnit, respetivamente. Além disso, a norma EN 17632 prescreve a utilização da ontologia QUDT para os tipos e unidades de quantidade. Por conseguinte, os conceitos do IFC foram substituídos por conceitos adequados da ontologia de tipos de quantidades QUDT, como se mostra na tabela 1. A aplicação do padrão de modelação de nível 2 resulta na criação de objetos de atributos OTL, como se mostra na figura 7.

Tabela 1 – Mapeamento dos tipos de medidas IFC com conceitos quantitativos adequados

IFC measure type	Replacing concept
IfcPositiveLengthMeasure	quantitykind:Length
IfcAreaMeasure	quantitykind: Area
IfcForceMeasure	quantitykind: Force
IfcNormalizedRationMeasure	quantitykind: NormalizedDimensionlessRatio
IfcPressureMeasure	quantitykind: Pressure
IfcIdentifier	xsd:string (level 1 property modelling)
IfcLabel	xsd:string (level 1 property modelling)
IfcGloballyUniqueID	xsd:string (level 1 property modelling)

Figura 7
Visualização dos atributos modelados de acordo com o padrão de modelação de propriedades de nível 2.



3.3. Análise dos ficheiros IFC-STEP

Depois de estabelecida a taxonomia OTL com atributos, o passo seguinte foi desenvolver um script que pudesse pegar num ficheiro de dataset IFC-STEP, processá-lo e produzir um grafo RDF (nos formatos JSON-LD e TTL) que estivesse de acordo com a OTL. A implementação é feita em JavaScript com a utilização do pacote web-ifc desenvolvido como parte do projeto IFC.js. Os modelos IFC de teste são 2 modelos de arquitetura e 1 modelo de sistemas.

A API web-ifc permite obter todos os elementos pela sua `IfcClass` ou pela `IfcRelationship`. Por conseguinte, a primeira etapa da análise IFC-STEP consiste em recuperar todas as entidades do conjunto de dados, as suas classes e enumerações (se disponíveis) e utilizar esta informação para criar nós no grafo RDF, em que o GUID IFC (`GlobalId`) serve de identificador único do elemento em causa, ligando-o através da relação `rdf:type` às classes existentes na OTL. A análise dos ficheiros resulta num conjunto de dados em que as instâncias estão ligadas aos tipos OTL, como mostra a Figura 8.

```
dis:2U2bEFdi9D29Y9qmkfORiT a otl:PipeFitting-BEND .
dis:29JEkkq6v4deitAoBmBEWS a otl:AirTerminal-GRILLE .
dis:29JEkkq6v4deitAoBmBEFu a otl:WasteTerminal-ROOFDRAIN .
dis:29JEkkq6v4deitAoBmBDmU a otl:DuctSegment-RIGIDSEGMENT .
```

Figura 8

Excerto de conjunto de dados IFC convertido – ligação de instâncias a tipos OTL.

A análise dos atributos resulta em atributos de nível 1 e nível 2 modelados e anexados aos elementos relevantes, como mostra a Figura 9.

TERSE TRIPLE LANGUAGE (TTL)

```
dis:1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p otl:globalId "1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p" ;
  otl:name "Doors_ExtDbI_Flush:BIMA+_Door_ExteriorGlassDoor_1510x2310mm:317917" ;
  otl:objectType "Doors_ExtDbI_Flush:BIMA+_Door_ExteriorGlassDoor_1510x2310mm" ;
  otl:tag "317917" ;
  otl:overallHeight dis:1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p-overallHeight ;
  otl:overallWidth dis:1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p-overallWidth ;
  otl:operationType otl:DOUBLE_DOOR_SINGLE_SWING-Door ;
  a otl:Door-DOOR .

dis:1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p-overallHeight rdf:value 2310 ;
  nen2660:hasUnit <http://qudt.org/schema/qudt/Milim> .

dis:1qHFr7JC9CT05IS3NzkT0p-overallWidth rdf:value 1510 ;
  nen2660:hasUnit <http://qudt.org/schema/qudt/Milim> .
```

Figura 9

Trecho de TTL do conjunto de dados mostrando atributos de nível 1 e nível 2 para um elemento IFC.

3.4. Controlo da conformidade com o SHACL

Por último, para garantir a validade do quadro proposto, bem como dos dados produzidos pela aplicação de prova de conceito, é necessário verificar o conjunto de dados com as restrições SHACL. A validação SHACL será efetuada a dois níveis:

O primeiro nível consiste em verificar a conformidade do conjunto de dados com as formas SHACL existentes na OTL. Estas formas SHACL expressam a natureza inerente do esquema IFC (como por exemplo, que cada indivíduo, classificado numa subclasse da classe `IfcRoot`, deve ter um GUID) e são, portanto, universalmente aplicadas independentemente do projeto.

O segundo nível é a verificação das restrições específicas do projeto contidas num gráfico de formas separado. Estas formas diferem de projeto para projeto ou mesmo dependendo da disciplina que está a ser verificada

O SHACL pode validar dados para restrições de valor, como mostrado na Figura 10, bem como para restrições relacionais.

Figura 10
Restrições de valor a nível do projeto.

```
TERSE TRIPLE LANGUAGE (TTL)

shapes:doorAccessibilityShape rdf:type sh:NodeShape ;
  sh:property _:r0 ;
  sh:targetClass otl:Door .

shapes:valueShape rdf:type sh:PropertyShape ;
  sh:minInclusive "2400"^^xsd:integer ;
  sh:path rdf:value .

_:r0 sh:message "The door height is not at least 2400" ;
  sh:path otl:overallHeight ;
  sh:property shapes:valueShape .
```

4. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi investigar as possibilidades de ligar modelos de dados normalizados no ambiente construído. Foi efetuada uma análise do estado da arte do IFC e da *Linked Data*. No que respeita à tecnologia, a revisão da literatura confirma que as soluções implementadas devem basear-se em normas abertas, fáceis de utilizar e flexíveis. Tendo isto em mente, o conteúdo das normas (ISO 16739-1:2018 ou IFC, e EN 17632-1:2022 ou SML) foi analisado na perspetiva da sua interconectividade. A investigação introduziu meios teóricos de ligação destas normas para a taxonomia, as relações e os atributos, juntamente com uma proposta de modelação de restrições SHACL para validação de dados, incluindo o primeiro exercício de verificação da conformidade de casos de uso. É necessário mais trabalho

para explorar melhor o potencial do SHACL no domínio do licenciamento e da verificação automática da conformidade.

Depois de apresentar o enquadramento teórico, este foi aplicado na prática com recurso a ferramentas de software já existentes, à linguagem de programação JavaScript e a várias bibliotecas JavaScript, sendo a mais importante a IFC.js. As aplicações para criação de OTL, análise de modelos e validação foram desenvolvidas e testadas com sucesso.

Agradecimentos

Esta investigação foi realizada com o apoio da União Europeia através da Bolsa Erasmus Mundus, no âmbito do Mestrado Conjunto BIM A+ Erasmus Mundus.

Referências

- [1] “The status of IFC 4.3 and the benefit of further extensions as IFC 4.4 – buildingSMART International.” Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/>
- [2] buildingSMART, “IFC Formats,” buildingSMART Technical. Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>
- [3] P. Pauwels and W. Terkaj, “EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology,” *Automation in Construction*, vol. 63, pp. 100-133, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2015.12.003.
- [4] “ifcOWL ontology (IFC4_ADD2_TC1).” Accessed: Nov. 21, 2023. [Online]. Available: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4/ADD2_TC1/OWL/index.html
- [5] Britannica, “World Wide Web | History, Uses & Benefits | Britannica.” Accessed: Jun. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/topic/World-Wide-Web>
- [6] Ž. Turk, “BIM A+4: Advanced BIM data systems and interoperability ISO Step,” 2023.
- [7] R. Studer, V. R. B. B'c, and D. Fensel, “Knowledge Engineering: Principles and methods,” 1998.
- [8] “Object Type Library – Platform Linked Data Nederland.” Accessed: Sep. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.pldn.nl/wiki/OTL>
- [9] M. H. Rasmussen, M. Lefrancois, M. Bonduel, C. A. Hviid, and J. Karlshø, “OPM: An ontology for describing properties that evolve over time”.

BIM e as regras de medição em Portugal

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.5>

**Laura Almeida¹, Filipe Lima²,
Sébastien Roux², Miguel Azenha³**

¹ *Limsen Consulting, Lisboa e Mestrado BIM A+*

² *Limsen Consulting, Lisboa*

³ *Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem passado por uma transformação significativa com a introdução do *Building Information Modeling* (BIM). Esta abordagem, que proporciona uma representação digital das características dos edifícios, promove a colaboração e reduz erros. No entanto, a integração do BIM com as normas de medição ainda apresenta desafios, particularmente no setor AEC português, onde é essencial harmonizar o BIM com as Regras de Medição Portuguesas para fortalecer os processos de quantificação através de medições precisas e estimativas de custos baseadas em modelos.

Este artigo destaca a importância de alinhar o BIM com as Regras de Medição Portuguesas, também conhecidas como Curso Sobre Regras de Medição na Construção (CSRMC). Iniciando com uma análise profunda das diretrizes do CSRMC, o seu potencial de integração com o BIM foi analisado, e suas limitações foram identificadas. Posteriormente, através de entrevistas com entidades relevantes na indústria, são revelados métodos, desafios e melhores práticas para integrar o BIM nas medições. A pesquisa é corroborada por dois estudos de caso, um focado em Arquitetura e Estrutura e outro em Mecânica, Elétrica e Hidráulica (MEP), fornecendo percepções práticas, conduzindo à proposta de metodologias e soluções para otimizar as medições baseadas em BIM na indústria AEC em Portugal.

1. Introdução

A indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) atravessou uma mudança paradigmática com a introdução da Modelagem da Informação da Construção (BIM). Apesar do seu potencial transformador, a integração dos processos BIM com os padrões tradicionais de medição ainda representa um desafio [1], [4], [6]. Este desafio é particularmente evidente na indústria AEC portuguesa [5], onde o alinhamento do BIM com as Regras Portuguesas de Medição é essencial para otimizar a quantificação e estimativa de custos. No entanto, essa relação encontra-se em estágios iniciais de desenvolvimento.

A nível internacional, verifica-se uma lacuna entre as capacidades do software BIM e as regras de medição estabelecidas [1], [4], [5]. A ausência de regras padronizadas adaptadas ao BIM resulta na necessidade de ajustar os modelos para se conformarem às diretrizes locais de medição [5]. Este processo de adaptação envolve dois pontos de vista principais: a utilização de métodos artificiais para conformar dados BIM às regras de medição ou o desenvolvimento de modelos que se alinhem inerentemente a essas regras, aplicando métodos de modelagem que se desviam do comportamento padrão da plataforma BIM de modelação.

O estudo em questão concentra-se na análise, discussão de oportunidades de melhoria e proposta de diretrizes para alinhar as Regras Portuguesas de Medição com as práticas atuais de BIM na indústria AEC portuguesa. O objetivo é contribuir para a revisão do Curso Sobre Regras de Medição na Construção (CSRMC) [3] - uma diretriz amplamente reconhecida para práticas de medição em Portugal - facilitando a sua integração com os processos BIM de quantificação.

Este artigo sintetiza a pesquisa conduzida por Almeida [2] em sua dissertação de mestrado. Abrangendo uma análise aprofundada das diretrizes CSRMC, entrevistas com entidades relevantes do setor e estudos de caso, busca-se validar as metodologias propostas. O resultado final se traduz em soluções práticas para otimizar a quantificação baseada em BIM na indústria AEC portuguesa.

2. Práticas da indústria: regras de medição e quantificação BIM na indústria portuguesa

As regras do CSRMC, originalmente concebidas para métodos manuais de quantificação, enfrentam desafios significativos no contexto do BIM [5]. Foi realizada uma análise abrangente do CSRMC para avaliar o seu potencial na utilização do BIM e identificar possíveis limitações. Os resultados desta análise serviram de base para a seleção de tópicos a serem avaliados no contexto português.

Com o intuito de investigar como as empresas abordam esses tópicos, foram conduzidas entrevistas com partes interessadas chave, visando compreender os métodos que utilizam para lidar com as discrepâncias entre os dados gerados pelo BIM e as práticas do CSRMC.

A metodologia adotada foi semiestruturada, visando obter percepções aprofundadas, mantendo o foco nos objetivos do estudo. Foram entrevistadas 15 empresas relevantes do setor AEC português, selecionadas com base em sua experiência com BIM, regras de medição e sua participação em diferentes fases do processo de projeto e construção. Apesar de terem sido representadas construtoras, gestoras de obra e empresas de gestão de BIM, os projetistas predominaram, representando 68,4% das empresas entrevistadas. Isso se deve ao facto de que a análise realizada é maioritariamente centrada na fase de orçamentação, nas quais os projetistas constituem a maior população com maturidade elevada em BIM. Em termos de disciplinas, a diversidade de especialidades nas empresas entrevistadas foi assegurada, com quase metade representada por equipas especializadas em mais de quatro disciplinas.

As entrevistas foram estruturadas em tópicos gerais e específicos por disciplina, adaptadas de acordo com as especialidades de cada entrevistado, visando uma análise abrangente das práticas adotadas pela indústria. Nos tópicos gerais, foram exploradas estratégias como o uso de software, a estruturação de Mapas de Quantidades e Trabalhos (MQTs) e métodos de integração com modelos BIM. Por outro lado, os tópicos específicos por disciplina possibilitaram uma análise minuciosa das práticas em disciplinas como Terraplanagem, Estrutura de Betão Armado, Cofragem, Estrutura Metálica, Arquitetura, Sistemas Hidráulicos, Elétricos e AVAC, oferecendo entendimento sobre as particularidades e desafios específicos enfrentados por diversas especialidades.

2.1. Resultados das entrevistas – tópicos gerais

De acordo com as entrevistas, a variedade de software utilizada pelas empresas influencia diretamente a abordagem de quantificação. Foram citados Tekla, Civil 3D, AutoCAD, com destaque para o Autodesk Revit como ferramenta predominante.

A estrutura dos MQTs também carece de padronização, com 60% das empresas optando por criar estruturas únicas, enquanto 27% seguem o índice estruturado do CSRMC, e 13% personalizam MQTs conforme modelos e requisitos dos clientes. Essa disparidade, tendo como um dos principais motivos a falta de uma Estrutura Analítica de Projeto (EAP), ou estrutura de articulado, padronizada em Portugal, não apenas desafia os intervenientes e a indústria da construção, mas também dificulta a troca eficiente de dados.

A integração do MQT com o BIM é realizada por métodos variados, desde a utilização do Excel com informações extraídas dos modelos até ferramentas avançadas como Power BI. A inserção de códigos personalizados nas propriedades do modelo é uma prática comum, com considerações sobre a consistência e granularidade do código. Além disso, o uso de softwares especializados em quantificação baseados em regras automatizadas mostra muito potencial, embora não seja amplamente adotado devido a custos adicionais e curva de aprendizagem.

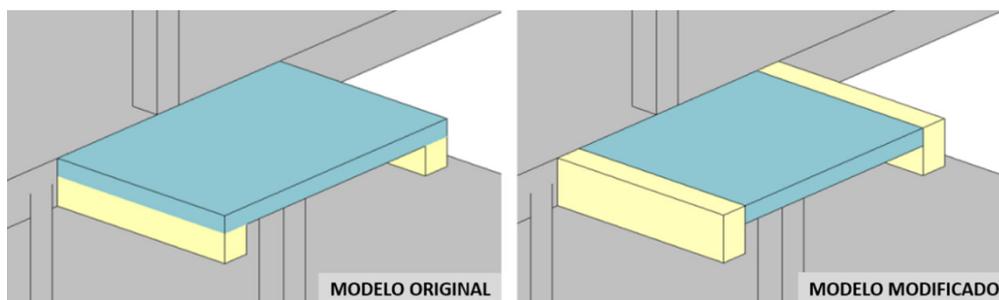
2.2. Resultados das entrevistas – tópicos específicos por disciplina

2.2.1. Estrutura de betão

A análise quantitativa dos elementos estruturais de betão evidencia a complexidade das práticas adotadas para integrar os resultados dos modelos ao CSRMC. Dentro da amostra entrevistada, observa-se que 37,5% dos participantes optam por modelar seus projetos de acordo com as diretrizes do CSRMC, visando uma quantificação precisa, mesmo que esse processo seja mais manual e requerem mais tempo. Outros 25% escolhem recalcular os volumes dos elementos ao redistribuir o volume de betão entre os elementos utilizando as tabelas das plataformas de modelação, preservando assim a integridade da geometria original dos modelos e ajustando os volumes entre os elementos para atender ao CSRMC.

Os 35% restantes preferem modelar com o comportamento nativo da plataforma BIM de modelação e ajustam as junções dos elementos para se adequar ao CSRMC, conforme exemplificado na Figura 1. Esse procedimento, em sua maioria, é executado com o suporte de plugins externos.

Figura 1
Comparação do modelo original, gerado nativamente pela plataforma BIM de modelação, e o modelo com as junções dos elementos estruturais modificadas.



2.2. Arquitetura

Dada a diversidade de elementos no ambiente arquitetónico, as entrevistas concentraram-se principalmente em Paredes, Pisos, Tetos e acabamentos, utilizando a unidade de quantificação em metros quadrados, alinhada tanto com as diretrizes CSRMC quanto com as ferramentas de modelação. No entanto, surge uma discrepância ao lidar com negativos e aberturas. Enquanto as diretrizes CSRMC estabelecem as dimensões mínimas dos negativos que devem ser subtraídas de paredes, pisos e acabamentos, a abordagem BIM desconta todas as áreas correspondentes a portas, janelas e outras aberturas, representando assim a área líquida.

A maioria das empresas adota essas áreas fornecidas pelo BIM, pois desenvolve seus projetos considerando a modelação das camadas de paredes/pisos separada dos elementos de acabamento. Isso traz mais segurança e controle na quantificação de cada especificação. No entanto, uma construtora específica destoa desse padrão.

Essa empresa desenvolve seus modelos considerando elementos unificados com camadas, visto que necessitam de rapidez na modelação. Devido a essa abordagem, a extração das quantidades de acabamentos não é tão precisa, portanto, essa construtora ainda não confia totalmente nas informações do modelo para quantificação de acabamento, optando, nesse caso específico, por recorrer a quantificações em 2D para acabamentos.

2.2.3. Instalações de canalização

Os modelos de canalização compreendem essencialmente tubos, acessórios e equipamentos como componentes principais. A quantificação dos tubos é predominantemente realizada por comprimento, com exceções aplicadas em situações específicas que requerem abordagens modulares. No caso dos acessórios, são empregues três abordagens distintas: a quantificação por comprimento, a utilização de rácios e a contagem de unidades por tipo, conforme ilustrado na Figura 2.

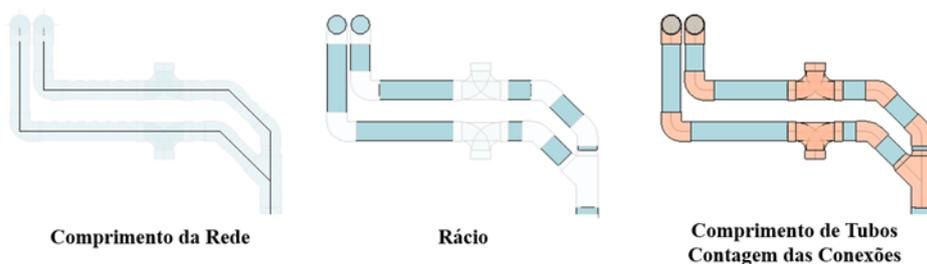


Figura 2
Métodos sugeridos para quantificação das Instalações de Canalização.

Dentro da amostra entrevistada para esta disciplina, 22% dos profissionais preferem calcular o comprimento total da rede de acessórios. Essa abordagem requer a inclusão de parâmetros nos acessórios de tubagens para que possam reportar seus comprimentos. Outros 33%, especialmente em fases iniciais de projeto, aplicam rácios ao comprimento dos tubos para calcular a quantidade de acessórios, sendo que esse rácio varia de 10 a 30%, dependendo do sistema hidráulico em questão. O último método representado por 44% dos entrevistados, é a contagem de unidades por tipo de acessório, proporcionando ao MQT informações mais detalhadas e abrangentes. No que diz respeito à quantificação de dispositivos e equipamentos, os custos podem ser incorporados na fase inicial do projeto ou, se o modelo for detalhado, podem ser quantificados por unidades.

As margens de segurança aplicadas à quantificação variam, com algumas empresas optando por incorporar quantidades brutas no MQT, enquanto outras adicionam uma margem percentual para mitigar os riscos associados a possíveis imprecisões.

2.3. Considerações finais das entrevistas

No contexto mais amplo, destacam-se as diferentes necessidades de detalhe para destinatários distintos. Clientes frequentemente requerem custos totais, enquanto

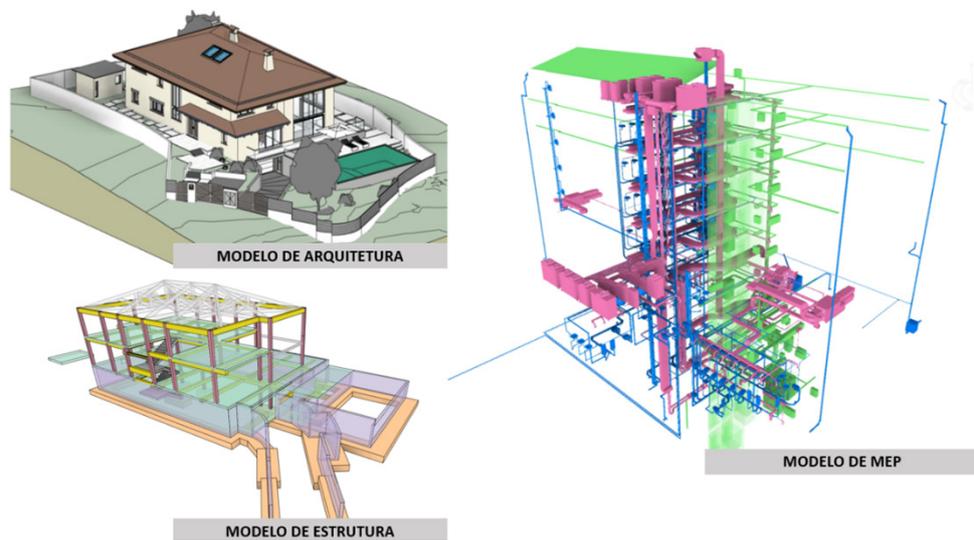
os empreiteiros exigem uma análise com granularidade maior, o que impactará nas unidades e métodos de quantificação. As diferenças observadas nas unidades de quantificação e as adaptações intensivas necessárias para alinhar os processos BIM com os padrões do CSRMC evidenciam os desafios na transição das práticas tradicionais de medição para metodologia BIM. Gerir essas abordagens híbridas requer uma consideração cuidadosa, uma comunicação eficaz com as partes interessadas e a exploração de possibilidades de automação.

3. Estudos de caso: compatibilidade do BIM com as regras de medição portuguesas

Para analisar as discrepâncias entre o BIM e as diretrizes do CSRMC de forma prática, este estudo baseou-se em dois estudos de caso: um centrado em Arquitetura e Estrutura e outro em MEP (Mecânica, Elétrica e Canalização). Os modelos arquitetónicos e estruturais representavam uma casa de dois pisos, enquanto os modelos MEP eram destinados à remodelação de um edifício comercial. Ambos os projetos utilizaram o Revit para modelação, sendo que os modelos de Arquitetura e Estrutura foram desenvolvidos com base nas diretrizes do CSRMC. O modelo MEP foi modelado com o comportamento nativo da ferramenta, mas foi customizado para reportar as informações requeridas pelo CSRMC.

Figura 3

Imagens dos modelos utilizados nos estudos de caso.



Para facilitar a rastreabilidade e comparação das quantidades, foram incluídos em todos os elementos modelados, a nível de instância, parâmetros de identificação em todos os elementos, tais como “código de articulado” e um código específico do projeto, identificado como “*QTO_ItemNR*”. Parâmetros adicionais foram introduzidos no modelo de canalização para reportar as quantidades de acordo com as unidades requeridas pela CSRMC. Por exemplo, nos acessórios de tubagens, foi incluído um parâmetro que calcula o comprimento das peças para determinar o comprimento total da rede.

O processo teve início com a criação de articulado baseado na CSRMC, seguida pela atribuição de códigos a cada elemento do modelo. Utilizando o Navisworks 2023, esse procedimento abrangeu elementos-chave das disciplinas, como paredes, pisos, tetos, revestimentos, betão armado, e elementos MEP, como tubagens e seus acessórios. O principal objetivo era quantificar os elementos em BIM e compará-los com as regras de medição da CSRMC.

3.1. Resultados das comparações

Na estrutura de betão armado, ao comparar a quantificação utilizando as fórmulas da CSRMC com as quantidades geradas pela modelação nativa das ferramentas de autoria BIM, observaram-se variações nos volumes de betão de elementos como sapatas, vigas, pilares e lajes quando analisados individualmente. Isso ocorreu devido a considerações distintas em relação à geometria de fundações e à interpretação divergente da interseção entre vigas, lajes e paredes nos dois métodos. No entanto, apesar dessas discrepâncias, a variação total no volume estrutural foi de apenas 1%, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação de volumes: Modelo *versus* CSRMC

Código	Descrição	Quantidade no Modelo	Quantidade Calculada CSRMC	Variação
BL01	Sapata isolada	0.79	0.79	0%
SP03	Sapata corrida	14.88	14.23	4%
CL01	Pilar	0.16	0.17	9%
VG01	Viga	0.43	0.86	-100%
VG04	Viga	0.84	1.39	-67%
VG05	Viga	1.4	2.34	-67%
VG09	Viga	0.14	0.29	-100%
CW01	Parede	8.05	8.71	-8%
ER03	Piso	57.74	56.54	2%
CF02	Laje	10.57	8.74	17%
ES02	Escada	2.3	2.08	9%
Volume Total		97.3	96.15	-1%

Em relação às instalações de canalização, a comparação evidenciou uma variação de 2,40% entre o comprimento total calculado a partir do modelo e a abordagem 2D (CSRMC). Essa diferença está relacionada a um desnível em uma área específica das tubagens no modelo, a qual não foi identificada em 2D. Além disso, o estudo demonstrou que, nesta amostra, as conexões representam 20% do comprimento total das tubagens, validando o dado informado nas entrevistas.

Embora muitos princípios CSRMC possam ser aplicados a quantificações BIM, os exemplos detalhados nas seções 3 e 4 destacam variações substanciais nos métodos de cálculo para itens específicos. Dada a sua influência significativa na estimativa de projetos e avaliação de custos, garantir dados confiáveis é crucial. Com a crescente utilização de modelos para quantificações, torna-se essencial complementar as

diretrizes para utilizar quantidades diretamente dos modelos, assegurando assim um processo de quantificação transparente e confiável.

4. Aprimoramentos para as regras de medição portuguesas com BIM: otimização de processos e diretrizes práticas

Com base no resultado do conhecimento adquirido nas entrevistas do setor e no estudo de caso, foram consolidadas sugestões de adaptações e recomendações práticas para otimizar as diretrizes do CSRMC no contexto do BIM. Estratégias para aprimorar os processos de quantificação com base em BIM e diretrizes específicas para disciplinas são abordadas, proporcionando uma visão geral das práticas propostas para alinhar as regras de medição portuguesas às necessidades da indústria.

4.1. Sugestões para melhorias de processo

A integração da ISO 19650 no processo de quantificação com o CSRMC destaca a importância dos requisitos de informação descritos por esta norma. Destacam-se os *Project Information Requirements* (PIR), os quais focam na especificação de detalhes do projeto e nas utilizações de BIM. Os PIR abordam o nível de informação necessário para cada etapa do projeto, apoiando processos de quantificação precisos e contextualmente relevantes. Simultaneamente, os *Exchange Information Requirements* (EIR) facilitam a troca de dados através da implementação de práticas consistentes de modelagem e estruturas de troca de dados. Além disso, o EIR deve estabelecer medidas de controle de qualidade para auxiliar na verificação da quantificação, seja esta baseada ou não em regras de medição específicas, como o CSRMC, por exemplo. Essas medidas ajudam a assegurar que as quantidades calculadas estejam em conformidade com as regras de medição do CSRMC e com as propostas de aprimoramento futuras.

No âmbito do alinhamento com as melhores práticas de quantificação, destaca-se a importância de estabelecer requisitos focados em estimativa de custos e planejamento. A ênfase recai sobre a estrutura de articulado do projeto, sendo a CSRMC uma base para sua criação, e a necessidade de envolvimento contínuo de medidores ao longo do processo.

No tocante à aplicação em diferentes fases do projeto, diretrizes a seguir referenciam as fases de projeto portuguesas oficiais (Portaria n.º 701-H/2008 como referência, mesmo considerando a transição para Portaria n.º 255/2023). O objetivo é aplicar os métodos sugeridos em suas fases de projeto apropriadas.

4.2. Regras gerais

As orientações apresentadas a seguir representam opções de métodos para quantificação observadas nas práticas atuais da indústria portuguesa, utilizando o modelo

BIM como base de informação, seja através da aplicação de regras de medição, como o CSRMC, ou não. É crucial que o método a ser adotado em cada disciplina seja escolhido pelo Dono de Obra e esteja descrito e detalhado no EIR e no BIM Execution Plan (BEP).

As sugestões a seguir foram desenvolvidas com a ideia de serem aplicáveis em diferentes plataformas de modelação. No entanto, o Revit foi escolhido para a implementação prática destas diretrizes.

Para otimizar a utilização do BIM em conformidade com as futuras diretrizes, devem ser incluídos parâmetros para codificação e identificação de elementos, preferencialmente, parâmetros de instância. Esses códigos, como códigos de articulado, classificação ou codificações específicas do projeto, devem ser determinados no EIR do projeto. Isso facilita a ligação entre o modelo e a estrutura do MQT.

4.3. Estrutura de betão

Ao quantificar estruturas de betão com BIM, o volume do modelo deve ser a unidade de quantificação de referência. Para cumprir as diretrizes do CSRMC, podem-se seguir os métodos descritos abaixo. Para pilares, vigas e lajes de betão, há duas abordagens:

- **Modelação Conforme a CSRMC:** desenvolve-se o modelo levando em conta as considerações de geometria requeridas pelas regras de medição, as quais divergem do protocolo nativo das ferramentas de modelação. Apesar de este método requerer mais recursos, assegura a visualização e rastreabilidade das quantidades. Além disso, oferece vantagens em relação à abordagem 2D, uma vez que não só os resultados permanecem consistentes com o CSRMC, como também aproveita todos os benefícios do BIM.
- **Modificações no Modelo para Cumprir o CSRMC:** desenvolve-se o modelo com as considerações de geometria nativas da ferramenta de modelação para, posteriormente, adequar a geometria dos elementos às regras de medição (Figura 1). Embora as ferramentas de autoria BIM ofereçam opções para alterar a ordem de união, este processo muitas vezes requer intervenção manual. No entanto, plugins externos podem otimizar o processo. Ao seguir esta abordagem, é crucial verificar o modelo, especialmente se este for utilizado como referência para estimativas de armaduras.

Para paredes de betão, a unidade de quantificação deve ser o volume líquido, excluindo aberturas. O volume de escadas requer uma abordagem de levantamento de material, devido a limitações na extração do volume destes elementos em algumas ferramentas de modelação.

4.4. Arquitetura

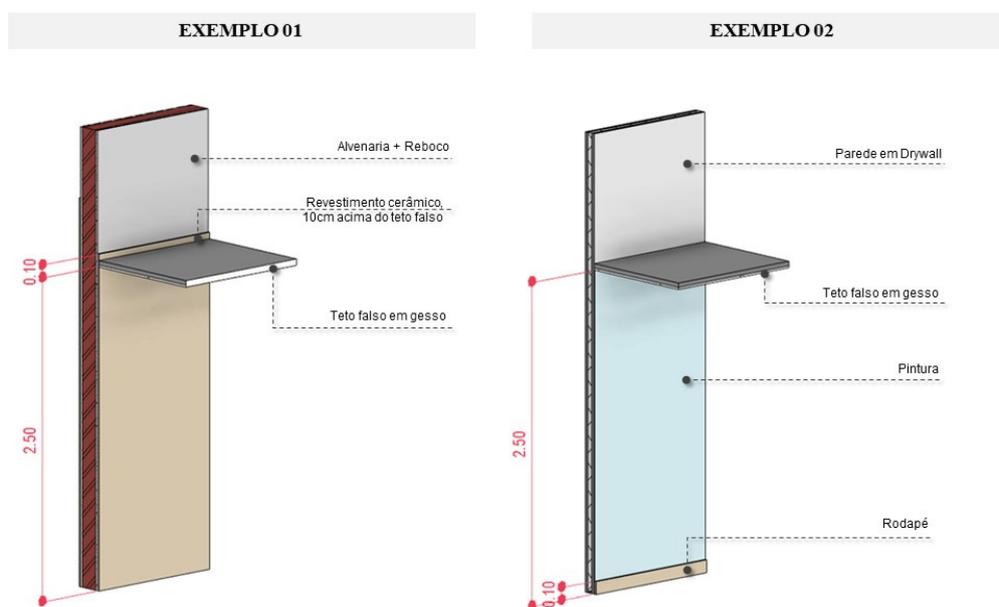
Ao quantificar essas paredes, pisos, tetos e acabamentos e seus acabamentos associados usando modelos, é crucial considerar a área líquida como a unidade de

quantificação, uma vez que todos os vazios já são contabilizados no modelo. Além disso, para quantidades mais precisas e detalhadas, é essencial modelá-los como elementos distintos de camada única, conforme representado na Figura 4. No entanto, se as quantidades forem estimativas ou menos detalhadas, os elementos podem ser modelados com múltiplas camadas.

Em relação aos acabamentos de escadas, é importante observar que eles não podem ser quantificados automaticamente quando incorporados nas escadas. Para lidar com esse desafio, podem ser quantificados utilizando as dimensões das escadas para calcular a área do acabamento, ou aplicar o material de acabamento designado aos degraus e espelhos, permitindo a quantificação deste material utilizado.

Ao quantificar elementos como carpintaria, equipamentos, mobiliário, portas e janelas usando o BIM, é crucial montá-los exatamente como serão quantificados. A quantificação é unitária, portanto, os componentes modelados devem ser agrupados para formar um elemento único no MQT. Vale ressaltar que, se houver variações entre objetos sob o mesmo código, como diferenças na descrição ou especificação, o código deve ser modificado para garantir uma estimativa de custo precisa alinhada com a especificação de cada elemento.

Figura 4
Exemplos de paredes únicas com camadas separadas, considerando a altura de acordo com as necessidades construtivas de cada material.



4.5. Instalações de canalização

O método de quantificação irá variar conforme a fase do projeto, os modelos disponíveis e as informações necessárias em cada etapa. Os três métodos sugeridos são listados abaixo:

- **Rácios:** calcular o comprimento das tubagens e adicionar o percentual que representa o comprimento dos acessórios, ambos em metros. Essa

metodologia pode ser aplicada em fases como Estudo Prévio e Anteprojeto / Projeto Base.

- **Cálculo do comprimento das conexões:** calcular o comprimento dos tubos somado ao comprimento das conexões, em metros. Este último deve ser reportado por meio de um parâmetro que o calcula com base nas dimensões específicas de cada conexão. Essa metodologia pode ser aplicada em fases como Anteprojeto, Projeto Base e Projeto de Execução.
- **Medição do comprimento dos tubos e contagem das conexões:** Essa abordagem fornece uma quantidade mais precisa e detalhada. Mais frequentemente observada em fases como Projeto de Execução, Fabricação e Construção.

A CSRMC requer que esses elementos sejam organizados com base no método de instalação no local (como aéreos, embutidos em pisos/lajes ou fixados com abraçadeiras), sendo crucial indicar essas informações nos elementos por meio de parâmetros de instância.

4.6. Articulado

Durante este estudo, foi desenvolvido um articulado com base na CSRMC, evidenciando ambiguidades e omissões na estrutura das diretrizes. Destaca-se uma omissão relevante referente aos sistemas de supressão de incêndios, os quais não foram indicados no capítulo de Canalização. Outro exemplo é a necessidade da inclusão das categorias para pintura de paredes e tetos, ausentes no 18º capítulo da CSRMC. Esta estrutura preliminar de articulado pode servir como base para futuros desenvolvimentos, alinhando-se com iniciativas nacionais em Portugal, como o SECClasS, para contribuir para referências nacionais e impulsionar a padronização na indústria.

5. Conclusão

Este estudo concentrou-se na análise, discussão de oportunidades de aprimoramento e na proposta de diretrizes para alinhar as Regras de Medição Portuguesas (CSRMC) com as práticas BIM na indústria AEC portuguesa. Os resultados obtidos por meio de entrevistas e estudos de caso revelaram variações significativas nos métodos de cálculo de quantidades para elementos específicos em diversas disciplinas. A principal contribuição deste estudo consistiu na proposta de aprimoramentos práticos para as diretrizes do CSRMC, fornecendo um guia que apoie a padronização dos processos de quantificação, com o intuito de torná-los mais eficientes, precisos e alinhados com as práticas da indústria. Tais melhorias englobaram a integração de princípios da ISO 19650, a introdução de um articulado específico para a indústria portuguesa e ajustes em métodos e unidades de quantificação para várias disciplinas. O propósito foi contribuir para a atualização das regras CSRMC, promovendo a padronização e eficiência, assegurando a confiabilidade e rastreabilidade dos dados nos processos de quantificação na indústria AEC de Portugal.

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 de Estruturas (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE sob a referência LA/P/0112/2020

Referências

- [1] Abanda, F. H., Kamsu-Foguem, B. and Tah, J. H. M., *BIM – New Rules of Measurement Ontology for Construction Cost Estimation*, Engineering Science and Technology, an International Journal, vol. 20, no. 2, pp. 443-59, 2017. DOI: 10.1016/j.jestch.2017.01.007
- [2] Almeida, L., *Contribution to the Revision of the Portuguese Rules of Measurement Towards a Standardized BIM-Based Industry*, Universidade do Minho, 2023.
- [3] Fonseca, M. S., *Curso Sobre Regras de Medição Na Construção*, Lisboa: LNEC, pp. 1-263, 2019.
- [4] Liu, H., Cheng, J. C. P., Gan, V. J. L. and Zhou, S., *A Knowledge Model-Based BIM Framework for Automatic Code-Compliant Quantity Take-Off*, Automation in Construction, vol. 133, January 1, 2022. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104024
- [5] Monteiro, A. and Poças Martins, J., *A Survey on Modeling Guidelines for Quantity Takeoff-Oriented BIM-Based Design*, Automation in Construction, vol. 35, pp. 238-53, 2013. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.05.005
- [6] Zaki, T., Magdy, A., and Nassar, K., *BIM-Based Bill of Quantities Generator Following POMI and NRM2 Methods of Measurement*, EG-ICE'20 – 27th International Workshop on Computing in Engineering, 2020.

Utilização de famílias BIM de equipamentos hospitalares para tomada de decisão projetual utilizando realidade virtual

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.6>

**Luciano Siebra¹, Rodinei Tomm²,
Adriana Tonani³, Paula Mota⁴,
Ricardo Mota⁵, Lorena Moreira⁶**

¹ SIPPRO, Fortaleza – CE, 0009-0001-8602-6740

² SIPPRO, Dourados – MS, 0009-0005-7681-9666

³ SIPPRO, Belo Horizonte, MG – CE, 0009-0008-1543-4692

⁴ SIPPRO, Birmingham – UK, 0000-0001-7559-8455

⁵ SIPPRO, Porto – UK, 0000-0001-7559-8455

⁶ Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA 0000-0001-8172-6572

Resumo

No atual cenário de projetos hospitalares, há uma alta demanda de avaliar espacialmente áreas críticas hospitalares, tais como unidades cirúrgicas e unidades intensivas, visando o uso e a operação da edificação. Com a visualização 2D, essa avaliação se torna limitada, causando problemas como a baixa qualidade das distribuições dos Equipamentos Clínicos Hospitalares (ECH) dentro dessas áreas críticas. Este artigo, por meio de uma pesquisa exploratória, visa apresentar uma melhoria na percepção dos usuários através da criação de um processo integrando o modelo *Building Information Modelling* (BIM) de ECH e Realidade Virtual (RV). Durante o desenvolvimento, a troca de informações ocorreu em colaboração com os clientes, médicos e gestores do hospital para garantir a melhor tomada de decisão na escolha da organização espacial de salas de Unidade de Tratamento Intensiva (UTI) e salas cirúrgicas. O resultado mais significativo encontrado foi uma melhor compatibilização dos ECH com outras disciplinas como estrutura, elétrica, hidráulica, gases medicinais e arquitetura de interiores. Além disso, será apresentado como ocorreu a visualização e o entendimento do projeto pelos clientes, médicos e gestores através do uso da RV. Ademais, como conclusão, percebeu-se que o projeto desenvolvido de ECH está qualificado para entrar na fase de construção, pois possui confiabilidade dos projetistas e usuários finais, dados inseridos de forma clara e concisa, e compatibilização entre disciplinas.

1. Introdução

As unidades assistenciais hospitalares possuem excessiva multiplicidade de informações construtivas e de equipamentos resultante dos inúmeros requisitos técnicos necessários ao funcionamento dos serviços prestados dentro das instituições. Essas unidades são caracterizadas pela interação de relações complexas, envolvendo tecnologia avançada, processos profissionais refinados e elementos industriais. Essa complexidade demanda uma abordagem cuidadosa e especializada na composição arquitetônica para garantir a integração eficiente desses diversos elementos [1].

1.1. Modelagem BIM aplicada às estruturas físicas hospitalares

As estruturas físicas hospitalares no Brasil são reguladas pelo Ministério da Saúde, e devem ser projetadas segundo a Resolução da Diretoria Colegiada, RDC 50 [2], da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, em vigor. Nessa normativa em âmbito federal, existe também a citação sobre as demais RDCs, normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e demais leis complementares que devem ser consultadas e cumpridas no desenvolvimento de projetos de unidades de saúde, formando um arcabouço legal que dispõe sobre o planejamento, a programação, a elaboração e a avaliação de projetos de estabelecimentos assistenciais de saúde de grande complexidade.

Na RDC 50, encontram-se descritas as características físicas dos ambientes de acordo com os procedimentos que irão ocorrer dentro deles, e suas áreas possuem estreita relação com as dimensões mínimas preconizadas para que as atividades aconteçam de forma adequada. Além disso, a RDC 50 serve como referência para estabelecer as infraestruturas de abastecimentos diversos dos ambientes necessárias para seu funcionamento [2]. Entretanto, a RDC 50 não apresenta modelamentos espaciais que possam servir de referência de replicabilidade nos projetos, entendendo que os arquitetos devam compreender profundamente os procedimentos que ocorrem nos ambientes, e serem capazes de desenvolver os projetos de acordo com as demandas específicas de cada unidade de saúde, tornando o exercício dessa análise espacial criteriosa e complexa.

Outra característica intrínseca das unidades hospitalares é a necessidade de flexibilização dos ambientes, o que requer um pensamento sistêmico articulado com um profundo conhecimento dos procedimentos que se desenvolvem dentro dos espaços, e que determinam características métricas ambientais, de quantidade e tipologias de equipamentos e do número de usuários envolvidos, que aumentam ainda mais a complexidade de suas análises. Portanto, o ato de projetar esses espaços torna-se ainda mais desafiador quando se entende o alto nível de abstrações espaciais necessário para que se consiga avaliar todos os aspectos pertinentes ao seu perfeito desempenho. Deve-se avaliar os espaços ocupados pelas pessoas e equipamentos, espaços de fluxos internos entre os objetos nos ambientes, espaços necessários aos procedimentos e o cruzamento dessas informações com todas as infraestruturas prediais de abastecimentos necessárias para que as atividades aconteçam [3], bem

como a análise do posicionamento dessas infraestruturas para que não existam colisões físicas entre elas. A utilização da modelagem BIM facilita a avaliação espacial prévia de todos os elementos e fluxos de pessoas que estarão presentes nos ambientes, bem como as interferências entre eles, contribuindo para que os processos de projeto, construção e operação sejam mais assertivos.

1.2. Associação da Engenharia Clínica com BIM e RV

Dentre todas as disciplinas que respondem pela infraestrutura hospitalar, a disciplina de Engenharia Clínica Hospitalar (ECH) é a responsável pela definição de todos os equipamentos que serão operados nos ambientes de saúde. Ela responde ao nível clínico demandado pelos clientes com relação à qualidade diagnóstica, mas também responde sobre sua relação de custo-benefício na avaliação do mercado de aquisições, garantias, comissionamentos, financiamentos, manutenções e operações futuras no funcionamento do ciclo de vida dos equipamentos. Dado ao seu alto custo de implantação, os equipamentos médicos possuem uma grande importância na viabilidade econômica das unidades de saúde, e a sua caracterização adequada e disposição nos ambientes, com a checagem de toda a infraestrutura necessária para sua operação é fundamental para o seu bom desempenho [4].

Além disso, levando-se em conta a criticidade dos procedimentos que acontecem dentro das unidades de saúde, bem como a curva de desembolso de aquisição dos equipamentos médicos, percebe-se que as unidades intensivas e cirúrgicas representam setores de grande relevância [5]. Assim, a análise espacial criteriosa desses ambientes é significativa para que garanta as dimensões adequadas para conter os equipamentos, os mobiliários, os materiais e as pessoas envolvidas, além de proporcionar os espaços necessários às movimentações internas nos ambientes e todas as infraestruturas que farão as alimentações desses equipamentos [6].

Inserido nesse contexto, nota-se que a sinergia entre a tecnologia de Realidade Virtual (RV), que possibilita imergir os usuários em ambientes virtuais interativos, e o *Building Information Modelling* (BIM), que oferece uma representação tridimensional precisa e inteligente de edifícios e seus equipamentos, pode criar oportunidades inovadoras para otimizar o projeto, a construção e a operação em ambientes de saúde [7].

A RV pode ter um impacto decisivo na experiência dos usuários com relação ao ambiente construído em hospitais. Essa tecnologia pode ser utilizada para visualizar as etapas anteriores das construções hospitalares e prever os impactos de novas propostas. Ao simular vários cenários e padrões com diferentes graus de complexidade, a equipe de projetistas, o corpo clínico e os usuários podem explorar novas interações relacionadas às pessoas e aos ambientes físicos [8]. O uso integrado de tecnologias BIM e RV pode melhorar a comunicação e a simulação durante a fase projetual, permitindo que os profissionais envolvidos possam visualizar e interagir com o projeto em um ambiente que pode ter diversos níveis de imersão. Essa integração também pode levar a uma melhor compreensão do projeto, mitigação de erros e retrabalho, além de economia de tempo e recursos.

No entanto, é importante ressaltar que podem ocorrer algumas limitações com a união dessas tecnologias como: (i) *hardware* e *software*, pois o uso de tecnologias de RV pode exigir equipamentos e ferramentas especializadas e a integração de diferentes tecnologias pode ser complexa exigindo conhecimentos técnicos específicos; (ii) aceitação, pois nem todos os profissionais envolvidos podem estar familiarizados com essas tecnologias; e (iii) segurança, pois a segurança dos dados é uma preocupação em ambientes hospitalares e a integração de diferentes tecnologias pode aumentar o risco de violações [7].

Dessa forma, o objetivo desse artigo é apresentar uma melhoria na percepção dos usuários de unidades assistenciais hospitalares, por meio da criação de um processo de desenvolvimento de um modelo BIM de ECH e sua aplicação em RV.

2. Método

Esse artigo fez uso da pesquisa exploratória que, de acordo com [9], “têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.” Baseado em [9] e [8] que apresentou uma sequência de passos para desenvolver a modelagem de ambientes hospitalares em ambientes virtuais, foi realizado o seguinte delineamento: a etapa (i) de formulação do problema de pesquisa foi elaborada a partir de fontes bibliográficas originadas do campo de pesquisa de unidades assistenciais hospitalares e arquitetura, juntamente com o BIM e a RV. Como já dito na introdução, a justificativa desse estudo é a dificuldade da compreensão do ambiente hospitalar em 2D. A etapa (ii) de definição de métodos e critérios de modelagem BIM listou as atividades do processo de modelagem, que foi sendo validado no decorrer do projeto de uma unidade hospitalar. A etapa (iii) de preparação do processo de modelagem foi para a criação da biblioteca de objetos de ECH, modelagem do espaço dos ambientes e inserção das informações semânticas aos objetos do modelo BIM. A etapa (iv) de coleta de dados na aplicação de RV focou na qualidade, medição e avaliação das percepções a partir das experiências dos usuários na aplicação da RV. E, por fim, a etapa (v) de análise dos resultados contou com a sistematização e a avaliação dos dados coletados. Essa etapa foi resultado do experimento em uma unidade hospitalar em construção em que foram elencadas as salas de cirurgia e as Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) como ambientes de estudo. A seguir, será detalhado o processo ocorrido na etapa (ii) e na etapa (v).

3. Resultados

3.1. Modelagem BIM aplicada à ECH

O processo para iniciar a modelagem dos projetos de ECH passou por uma análise prévia dos ambientes, objetos e compilação de informações necessárias que deveriam ser inseridas. Essa análise teve o objetivo de planejar a modelagem em termos de prazo estimado, entregas parciais, ferramentas utilizadas e equipe disponível.

A análise prévia foi realizada ainda em ferramenta CAD, a partir do projeto disponibilizado pelo projetista, em 2D, como mostra a Figura 1.

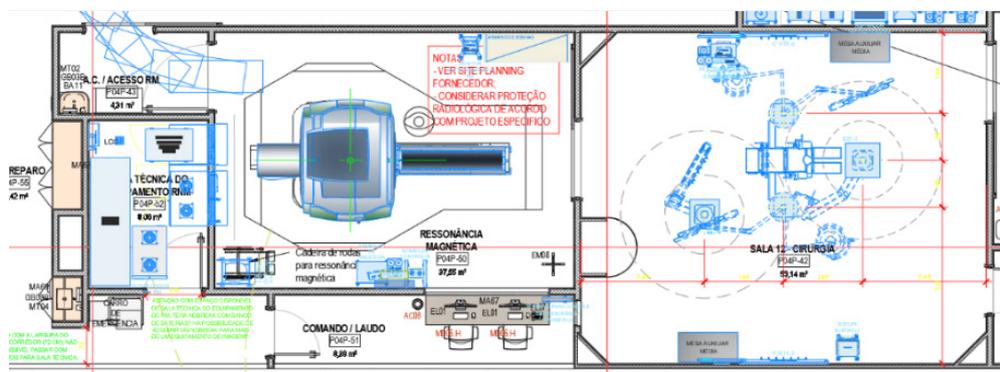


Figura 1
Projeto de ECH em
ferramenta CAD.

Após a análise prévia, e a criação do planejamento de modelagem, deu-se início aos modelos dos objetos de ECH. Essa modelagem inicial dos equipamentos foi criada através da geração de geometria espacial de forma simplificada (poliedro) com as suas dimensões e os espaços destinados para o suporte de equipamentos suspensos e as instalações necessárias aos seus funcionamentos. Para facilitar a identificação imediata da família, foi inserido o nome em 3D do equipamento à frente do modelo. A Figura 2 mostra a aparência de forma simplificada dos equipamentos: raio-x portátil, plasmaferese, óxido nítrico e hemodiálise (prismaflex).

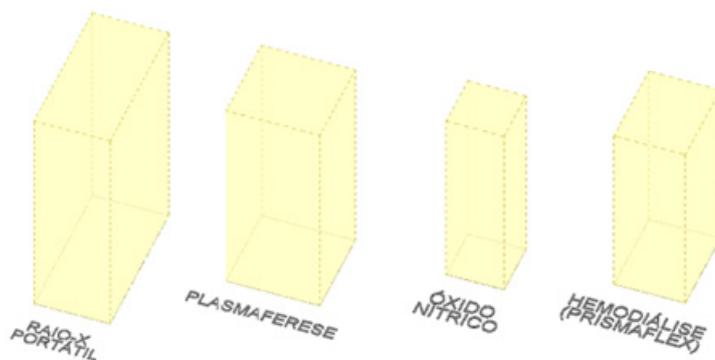


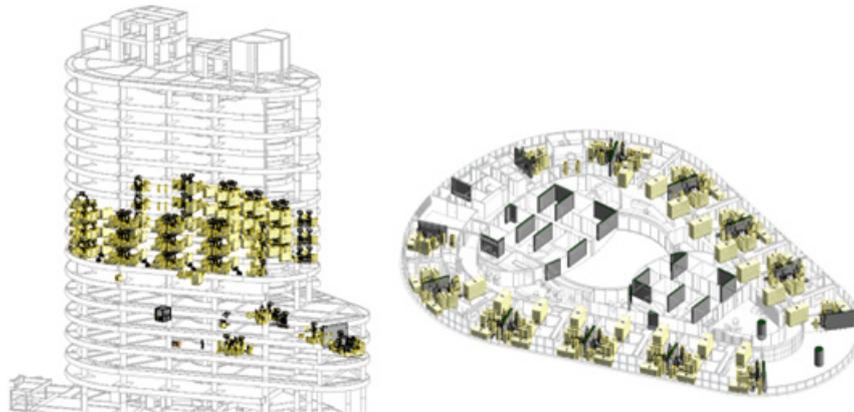
Figura 2
Exemplo do modelo
inicial dos objetos dos
equipamentos.

Essa etapa serviu para validação dos ambientes destinados aos equipamentos. Por serem modelos simples, sua movimentação e alteração foi fácil, contribuindo na rapidez das tomadas de decisões. Outra vantagem da modelagem inicial dos equipamentos foi a identificação das interferências espaciais (detecção de conflitos) no modelo BIM federado com as disciplinas arquitetura, estrutura, climatização, entre outras (Figura 3).

Para a identificação dessas interferências foi utilizada a ferramenta de revisão e visualização Dalux BIM Viewer. Essa é uma ferramenta gratuita que proporciona a integração da comunicação entre as equipes do projeto, contribuindo para uma

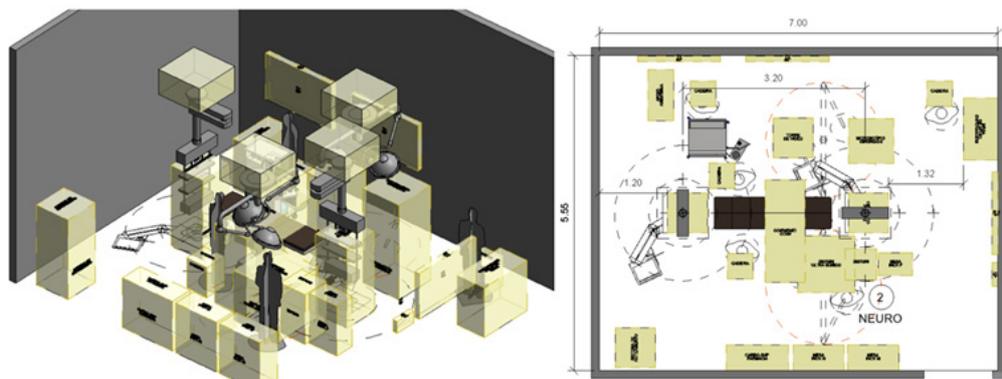
comunicação ágil. Assim, além da validação dos ambientes e da detecção e conflitos, as solicitações de ajustes e demanda de informações foram tratadas dentro da ferramenta Dalux, contribuindo para um projeto com qualidade e precisão dos dados.

Figura 3
Modelo federado.



Uma vez com os modelos iniciais dos equipamentos distribuídos no modelo federado, devido à alta complexidade da distribuição espacial, foram selecionadas as salas de cirurgia e as UTIs para serem visualizadas e analisadas espacialmente em RV. Por meio de reuniões com os projetistas, contratante e usuários finais, houve um consenso da melhor disposição dos equipamentos e de todo o posicionamento de estruturas e infraestruturas pertinentes a esses espaços. Essa etapa foi realizada com os modelos com a geometria espacial ainda de forma simplificada, como mostra a Figura 4.

Figura 4
Análise da distribuição dos equipamentos nas salas de cirurgia.



Outro objetivo desse projeto de ECH em BIM, além da validação espacial em RV, foi o uso do modelo BIM em gestão de ativos. Esse objetivo não será explorado no artigo, porém vale ressaltar que, durante a verificação inicial dos ambientes, houve a coleta de dados visando a fase de operação e manutenção dos equipamentos. Esses dados contribuíram para uma verificação espacial mais precisa, uma vez que foi realizada a importação do tipo, do modelo e do fabricante dos equipamentos para a geometria do objeto. O resultado da aplicação em gestão de ativos será tratado em estudos posteriores.

O próximo passo, para aplicação do modelo em RV, foi um maior detalhamento dos objetos BIM a partir da coleta de dados dos fabricantes referente aos equipamentos clínicos. Dessa forma, as geometrias simplificadas foram substituídas por geometrias mais detalhadas, com a finalidade de apresentar uma visualização mais próxima do ambiente real, em RV. A Figura 5 apresenta os mesmos equipamentos de raio-x portátil, plasmaferese, óxido nítrico e hemodiálise (prismaflex) modelados de forma mais precisa, com o benefício de ser identificado facilmente em RV. Nesse detalhamento, buscou-se um nível de detalhe que ajudasse na identificação, mas que não atrapalhasse na movimentação e produtividade do modelo BIM em termos de tamanho de arquivo.

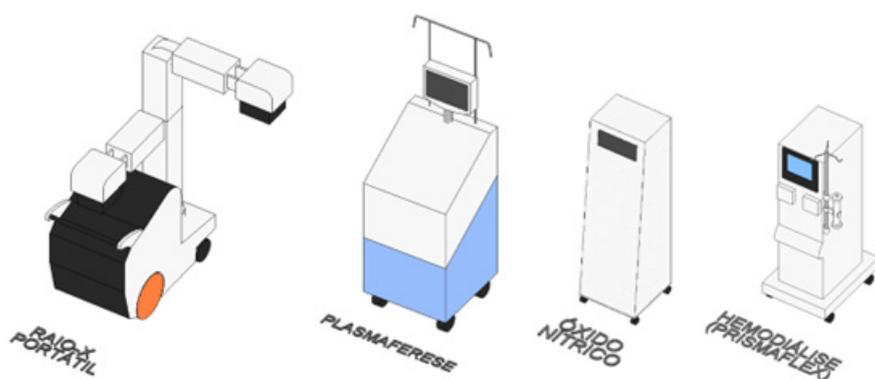


Figura 5
Exemplo do modelo detalhado dos equipamentos.

O passo seguinte foi a preparação das imagens realísticas para serem aplicadas no ambiente de RV. Para o tratamento dos objetos dos equipamentos visando a inserção de materiais, texturas e iluminação, o modelo BIM foi exportado para a ferramenta Twinmotion. Por conta do prazo e agilidade na aplicação, decidiu-se fazer o ambiente RV a partir de imagens 360° de cada sala (sala de cirurgia e UTIs). Com isso, foram criadas as imagens panorâmicas, como apresentado na Figura 6.

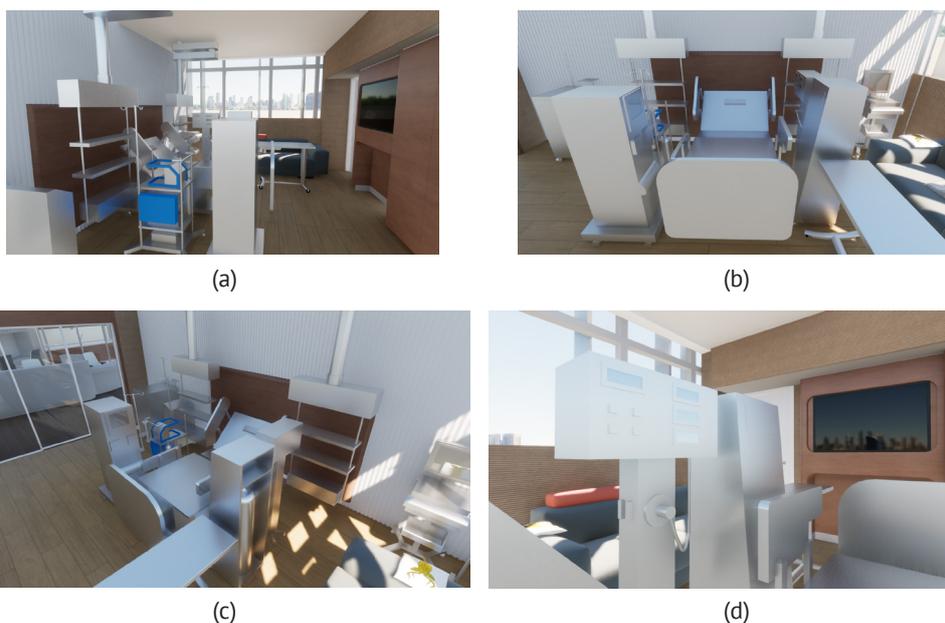


Figura 6
Salas de cirurgia e UTIs com equipamentos.

Nesse momento, é importante ressaltar que algumas dificuldades foram encontradas no processo de modelagem e tratamento do modelo, como: a escolha da ferramenta de modelagem compatível com o objetivo desejado e a ausência de recursos computacionais capazes de atender a demanda necessária para o uso de RV. Ademais, um dos obstáculos mais significativos foi a precariedade das informações técnicas disponíveis nos catálogos dos fornecedores de equipamentos hospitalares. Essa lacuna de informações representou uma limitação considerável durante o processo de modelagem. Observou-se a falta de detalhes dos equipamentos, como dimensões, especificações técnicas e outras informações relevantes para a modelagem dentro do ambiente virtual.

Dentro desse contexto, torna-se evidente a necessidade de uma colaboração mais estreita entre os fabricantes de equipamentos hospitalares e os profissionais envolvidos na modelagem BIM. Fornecer informações técnicas detalhadas desde o início do processo de design e desenvolvimento dos equipamentos é essencial para garantir a eficácia do processo e potencializar a melhoria da qualidade dos modelos BIM de equipamentos hospitalares. Essa integração é essencial para impulsionar melhorias contínuas no processo de modelagem e promover uma adoção bem-sucedida do BIM no setor de saúde.

3.2. A aplicação da RV para a experiência do usuário

A etapa de coleta de dados na aplicação de RV foi realizada em uma unidade hospitalar com a presença dos clientes, médicos e gestores do hospital (Figura 7). Foi considerado um representante de cada função para a experimentação em RV. Dentre eles, constavam uma pessoa do gênero feminino (gestora e engenheira civil) e duas do gênero masculino (cliente e engenheiro civil, e médico como usuário final), com idades entre 40 e 60 anos, sem experiência no uso de dispositivos de RV. Durante o experimento, esses usuários visualizaram as cenas das salas de cirurgia e UTIs em 360°, por meio de um *headset* de realidade virtual, em um intervalo de 5 a 10 minutos, em média. Embora o tamanho da amostra em relação à experiência do usuário não seja considerado representativo, essa etapa é vista como de suma importância.

Os recursos utilizados para essa visualização foram: Smartphone Samsung linha S, juntamente com o aplicativo *VaR's VR Video Player* e o dispositivo *VR Box Virtual Reality Glasses Headset* compatível com *smartphones*. Durante a aplicação em RV, por meio de uma entrevista não estruturada, os usuários relataram as suas percepções com relação a distribuição dos equipamentos nas salas de cirurgia e UTIs. Foram realizadas perguntas sobre a sensação de presença no ambiente, a percepção da agilidade e movimentação do corpo técnico, e sobre o entendimento e execução do projeto arquitetônico. Após a coleta desses dados, todas as solicitações de melhorias foram encaminhadas aos projetistas para alteração projetual. O Quadro 1 abaixo sistematiza a percepção dos colaboradores.

Quadro 1: Percepção dos clientes, médicos e gestores do hospital

Fatores	Relatos	Usuário
Sensação de presença no ambiente	- Fácil análise de pontos específicos do projeto como: altura do peitoril, especificação de materiais e fechamentos em vidro.	Cliente
	- Oportunidade de elaborar melhor as diretrizes para o uso do ambiente.	Cliente / Gestor
Movimentação do corpo técnico	- Certeza da posição e distribuição dos equipamentos a partir da captura de distâncias.	Médico / Cliente
	- Possibilidade de prever situações de risco como a necessidade de uso de uma grande quantidade de equipamentos ao mesmo tempo.	Médico
Execução do projeto	- Maior compreensão do projeto de arquitetura entre pessoas leigas ou não habituadas a analisar projetos.	Médico
	- Redução da criação de protótipos físicos para a validação do ambiente, trazendo diminuição de tempo e custo da construção.	Cliente

Diante das observações e respostas dos usuários que experimentaram a aplicação em RV, foi constatado que a RV ajudou em uma melhor percepção dos ambientes e colaborou para a tomada de decisões projetuais em ambientes assistenciais de saúde. De forma mais criteriosa pôde-se observar uma melhoria na comunicação e no entendimento entre os agentes envolvidos facilitando a colaboração e *feedback* sobre o projeto em tempo real. Com a visualização espacial em RV percebeu-se uma melhor compreensão do ambiente, disposição de equipamentos e fluxo de pessoas. A utilização da RV na avaliação espacial prévia de ambientes hospitalares, tanto dos projetistas, quanto dos usuários finais, poderá ser reaplicada para outros setores dos hospitais, tais como: nas farmácias e centrais de materiais esterilizados, na avaliação de seus ambientes para deslocamentos de fluxos e armazenamento de materiais, nas salas de grandes equipamentos, como da ressonância magnética, dos aceleradores lineares e da gama-câmara, na avaliação de distâncias de movimentação dos aparelhos e das pessoas, e em todas as situações onde a otimização espacial hospitalar requerer uma avaliação criteriosa de múltiplos parâmetros correlacionados.

Ademais, com a antecipação na identificação de problemas verificou-se que a RV minimizou custos associados a retrabalho e ajustes durante a construção do edifício hospitalar. Notou-se que a sua integração com o BIM possibilita a otimização de processos uma vez que a criação da biblioteca de ECH, gerada para dar materialidade ao modelo utilizado na RV, poderá ser utilizada em outros projetos dessa mesma tipologia. No entanto, percebeu-se que outras formas de criação de ambientes virtuais, com maior interação e imersão que os ambientes em 360° poderão ser exploradas em projetos futuros permitindo outros tipos de verificação que não foram escopo do presente estudo. Por fim, a aplicação da RV no projeto de arquitetura de unidades assistenciais hospitalares pode resultar em benefícios significativos, melhorando a análise da eficiência e a funcionalidade dos espaços dedicados à saúde.

4. Conclusão

Diante da complexidade inerente às unidades assistenciais hospitalares e das exigências regulatórias que orientam o seu desenvolvimento, este artigo propôs um avanço na compreensão e visualização desses espaços por meio da integração entre RV e BIM.

A pesquisa exploratória utilizada delineou um processo que incluiu a definição de critérios de modelagem BIM, a preparação do processo de modelagem e a coleta de dados na aplicação de RV. O estudo aplicado em uma unidade hospitalar em construção revelou que a modelagem inicial dos objetos de ECH em BIM facilitou a validação espacial e a detecção de conflitos, contribuindo para uma tomada de decisões mais eficiente. A posterior aplicação em RV proporcionou uma experiência imersiva aos usuários, permitindo a visualização detalhada das salas de cirurgia e UTIs, bem como a identificação de possíveis melhorias.

A percepção dos colaboradores que utilizaram a RV revelou informações significativas, como a facilidade na análise espacial, a previsão de situações de risco, a compreensão do projeto por pessoas não familiarizadas com desenhos em 2D e a redução da necessidade de protótipos físicos para validação do ambiente.

Com relação as limitações encontradas no processo de modelagem BIM, sugere-se uma colaboração mais estreita entre os fabricantes de equipamentos e os profissionais envolvidos. E apesar das limitações elencadas, a sinergia entre RV e BIM demonstrou ser promissora para otimizar a tomada de decisão projetual de unidades assistenciais hospitalares. A utilização conjunta dessas tecnologias pode proporcionar uma comunicação mais eficaz entre as equipes envolvidas, mitigar erros e retrabalho, economizar tempo e recursos, além de melhorar a compreensão do projeto como um todo, contribuindo para uma melhoria na percepção dos usuários e na qualidade desses ambientes complexos. Como trabalhos futuros, vislumbra-se uma maior interação e imersão com o uso de outras tecnologias associadas à RV.

Referências

- [1] R. de Góes, "Manual Prático de Arquitetura Hospitalar." Cidade de São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2004.
- [2] Brasil, "Ministério da Saúde. RDC n.º 50, de 21 de fevereiro de 2002." Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 20 de mar. de 2002.
- [3] A. T. Mazzeiro, "Reestruturação Física de Hospitais Gerais Existentes: uma estratégia metodológica": Belo Horizonte. Escola de Arquitetura/UFMG, 1998. 171 p.
- [4] J. F. Dyro, "Vendor and service management." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004.

- [5] S. Miodownik, "Intensive Care." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004, pp. 373-376.
- [6] C. J. Smith, R. Rane, L. Melendez, "Operating Room." In: *D. Joseph F. (ed.) Clinical Engineering Handbook*. The biomedical engineering series. Setauket, NY: Elsevier Academic Press, 2004, pp. 376-384.
- [7] Y-C. Lin et al., "Integrated BIM, game engine and VR technologies for health-care design: A case study in cancer hospital." *Advanced Engineering Informatics*, v. 36, pp. 130-145, 2018.
- [8] P. Chías et al., "3D modelling and virtual reality applied to complex architectures: an application to hospital design." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 42, pp. 255-260, 2019.
- [9] A. C. Gil, "Como Elaborar Projetos de Pesquisa." 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010, 184 p.

Transformação digital na indústria da construção: Capacitando a gestão de dados através de uma plataforma de modelos de dados de produtos (PDT)

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.7>

**Mohamad El Sibaii¹,
José Granja¹, Miguel Azenha¹**

¹ *Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-0810-9241 (MS),
0000-0002-0858-4990 (JG), 0000-0003-1374-9427 (MA)*

Resumo

A indústria da construção está a passar por uma transformação profunda impulsionada pela adoção generalizada do BIM (Building Information Modeling), que vai além dos projetos arquitetónicos e cronogramas. Essa abrange uma alteração profunda das práticas de gestão de dados. Num artigo da edição anterior do ptBIM, foi apresentado o papel crucial dos Modelos de Dados de Produtos (PDT) neste processo de digitalização, onde a gestão eficaz de dados de construção assume especial destaque, foi apresentado. Estes permitem harmonizar a grande e complexa quantidade de dados na indústria da construção. Nesse artigo é apresentada uma evolução da plataforma para exibição e revisão de PDT a nível nacional. Com base nesse trabalho e em resposta aos mais recentes desenvolvimentos nas normas relacionadas aos PDT e dicionários de dados, essa plataforma passou por grandes mudanças na sua estrutura de base de dados, quadro de programação e disponibilização de dados. Nesse contexto, é apresentada a nova plataforma, construída em Laravel e MySQL, constitui o alicerce da gestão confiável de dados e do rastreamento de dados sem interrupções. Alinhada com as rigorosas normas das EN ISO 23386 e 23387, não apenas capacita a partilha de modelos de dados e as auscultação da indústria sobre estes modelos, mas também se integra com aplicações externas através de uma API. Em suma, esta plataforma representa um passo em frente – um ecossistema abrangente para dados de construção.

1. Introdução

A indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC) está a adotar rapidamente tecnologias e processos digitais, sendo que o Building Information Modelling (BIM) assume um papel crucial nesta transformação [1]. O BIM envolve a criação e gestão de modelos 3D inteligentes contendo dados detalhados de construção ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Contudo, para aproveitar plenamente esses modelos virtuais, a indústria necessita de estruturas sólidas de gestão de dados que assegurem a troca contínua de dados entre diversos intervenientes [2–4].

A interoperabilidade de dados na construção é fundamental, pois promove a colaboração e comunicação harmoniosas entre os vários intervenientes, facilitando uma compreensão unificada das informações do projeto [5–7]. Isso melhora a eficiência, reduz erros e promove uma abordagem holística, garantindo que sistemas diversos possam trocar e utilizar dados de forma harmoniosa ao longo do ciclo de vida da construção. No entanto, o cenário da construção está repleto de inconsistências em relação aos dados de produtos de construção [8–11]. Isso pode levar a interpretações incorretas, erros e ineficiências, prejudicando a tomada de decisões eficaz e a colaboração entre os intervenientes. A padronização é crucial, pois fornece uma estrutura uniforme para os dados, garantindo coerência e compatibilidade entre diversas fontes, melhorando assim a confiabilidade e precisão das informações essenciais para projetos de construção bem-sucedidos [12–14]. Os dados associados aos produtos de construção devem encapsular vários dados técnicos, de sustentabilidade, manutenção e desempenho, definidos por diversas entidades [15]. Muitos destes dados do produto são exigidos por enquadramentos regulatórios aplicáveis, como a marcação CE na UE, que se materializam na Declaração de Desempenho (DoP) [16] e na Declaração Ambiental do Produto (EPD) [17].

Num artigo anterior [15], os autores explicaram como estes desafios podem ser abordados através do papel crucial da definição de Modelos de Dados de Produto (PDT), que são definidos pela EN ISO 23387 como estruturas normalizadas e interoperáveis de dados utilizadas para descrever as características dos produtos, sistemas e objetos de construção. O artigo investiga a intrincada rede de normas desenvolvidas pelo comité de normalização CEN/TC 442, centrando-se nas duas principais normas de PDT e dicionário de dados EN ISO 23387 e EN ISO 23386, respetivamente. A EN ISO 23387 fornece estruturas de dados padronizadas denominadas PDT para a troca de informações de produtos de construção em formato legível por máquina. Por outro lado, a EN ISO 23386 fornece diretrizes para a redação de definições padronizadas de propriedades e a criação de dicionários interconectados contendo tais definições. Neste contexto, o dicionário de dados buildingSMART (bsDD) é um serviço exemplar e aberto para a partilha de dicionários de dados, que apoia a criação de domínios conformes com a norma EN ISO 23386 [18].

Além disso, o artigo também destaca o papel de outras normas relacionadas sobre gestão de dados, como troca de dados usando IFC (prEN 17549-1), definição do Nível de Informação Necessário (EN 17412-1) e a definição de PDT com base em

Declarações Ambientais do Produto (EPD) (EN ISO 22057:2022, publicado pouco depois da publicação do artigo) [19–24]. Além disso, analisou as iniciativas existentes em matéria de normalização de dados e PDT no sector, concluindo que algumas plataformas fornecem conjuntos normalizados de propriedades para produtos de construção, mas não aderem às normas PDT mencionadas [25–26], enquanto outros, como o CoBuilder, LEXiCON e a comissão SN/K 374 na Noruega, estão a trabalhar no desenvolvimento de PDT em conformidade com os últimos padrões. No entanto, até à data, nenhum deles disponibiliza um acesso aberto ao sector. Alguns trabalhos na literatura abordam a normalização utilizando PDT [1–2–5–10–27], mas não disponibilizam conjuntos alargados de PDT para uso geral [13–28–29].

Perante esta oportunidade, o artigo [15] propôs um método normalizado de criação de PDT e uma plataforma de consulta e revisão de PDT abertos para o contexto português, alinhando-se com as estipulações da EN ISO 23386 sobre a criação de dicionários de dados à escala nacional. No entanto, a plataforma desenvolvida e apresentada no artigo [15] apresentava algumas limitações, nomeadamente: (i) capacidade limitada de versionamento, (ii) escalabilidade muito difícil devido à falta de uma estrutura de código padronizada, (iii) falta de conformidade da estrutura da base de dados com os padrões do PDT, (iv) ausência de *gateways* API para conexão com aplicações e plugins, e (v) não alinhamento com a base de dados do bsDD que permitiria a migração do domínio PDT para o seu servidor.

Para colmatar estas limitações, neste artigo é apresentada uma atualização da plataforma de código aberto. A plataforma anterior foi objeto de uma reestruturação significativa da sua base de dados MySQL para estar em conformidade com as normas de PDT EN ISO 23386 e EN ISO 23387, bem como com a estrutura da base de dados bsDD. A estrutura da plataforma foi completamente reorganizada para seguir a estrutura normalizada do Laravel, para permitir a escalabilidade, simplificar as interações com a base de dados e melhorar a organização do front-end. Esta plataforma de consulta de PDT dá à indústria acesso a PDT padronizados totalmente em conformidade com EN ISO 23386 e EN ISO 23387. Por último, foi acrescentada uma característica importante, que é a criação de portas de acesso API para a interação direta entre aplicações/plugins e a base de dados. A plataforma permite que os intervenientes na construção acedam, utilizem, discutam e aprimorem PDT, promovendo uma maior precisão de dados, compatibilidade, interoperabilidade e transparência.

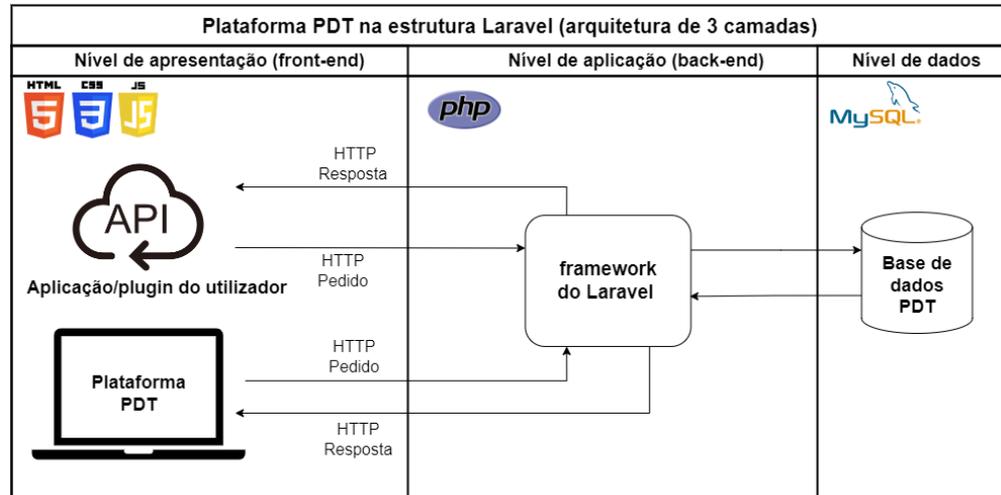
2. Plataforma de Consulta de PDT

2.1. Arquitetura da Plataforma de PDT

A plataforma foi construída utilizando a linguagem de programação PHP para criar os scripts essenciais que facilitam a comunicação entre a plataforma e a sua base de dados subjacente. Para aumentar a robustez e escalabilidade da plataforma foi decidido utilizar o *framework* Laravel que é conhecido pela sua eficácia no desenvolvimento de plataformas web baseadas em PHP. Em termos de armazenamento

e gestão de dados, a plataforma utiliza uma base de dados em MySQL, um sistema confiável de banco de dados relacional. Arquitetonicamente, a plataforma adota um *framework* estruturado de 3 níveis, incorporando níveis distintas de apresentação, aplicação e dados, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1
A arquitetura de 3 níveis da plataforma.



No nível de apresentação, são utilizadas as tecnologias HTML, CSS e JavaScript para criar uma interface de utilizador (UI). O mecanismo de modelação Blade simplifica o desenvolvimento da UI, incorporando hereditariedade para uma definição estética consistente. Esta nível abrange páginas essenciais dedicadas à listagem, visualização, download, comentários, revisão de PDs e à documentação da API. Também incorpora gestão de utilizadores e configurações de perfil. Na nível de aplicação, o PHP, em conjunto com o *framework* Laravel, acciona o processamento no lado do servidor. O roteador mapeia eficazmente os URLs para ações do controlador, gerindo pedidos do utilizador e construindo as respostas. Os controladores integram-se com os modelos renderizando vistas conforme necessário. As funcionalidades de middleware do Laravel garantem autenticação segura para acesso restrito, protegendo o sistema. APIs personalizadas melhoram ainda mais a troca estruturada de dados. A nível de dados depende do MySQL e do Mapeamento Objeto-Relacional (ORM) do Laravel para a gestão robusta de dados relacionais. O esquema é cuidadosamente projetado, incorporando tabelas normalizadas para armazenar PDT, grupos de propriedades, propriedades individuais e dicionários interligados. O uso de migrações permite a alteração da estrutura da base de dados sem o risco de perda de dados.

2.2. Alinhando o modelo de dados da plataforma com as normas do PDT

A arquitetura da base de dados MySQL da plataforma é elaborada de forma cuidadosa para se alinhar com as normas estabelecidas tanto na EN ISO 23387 quanto na EN ISO 23386. A EN ISO 23387 auxilia na estruturação dos PDT, onde estrutura os PDT de forma que cada PDT esteja conectado à Propriedades e os Grupos de Propriedades.

As Propriedades também são conectadas e agrupadas pelos Grupos de Propriedades. Além disso, cada elemento da estrutura do PDT está conectado a um documento de referência. Enquanto a EN ISO 23386 capacita a base de dados a funcionar perfeitamente como um dicionário de dados dedicado para abrigar informações de PDT. Isto significa que as propriedades e Grupo de Propriedades estão ligados a conjuntos de atributos retirados da norma EN ISO 23386, que auxiliam na gestão e autoria destes elementos. Essa dupla aderência aos padrões garante uma representação sistemática e coesa dos PDT dentro da plataforma, conforme representado na Figura 2.

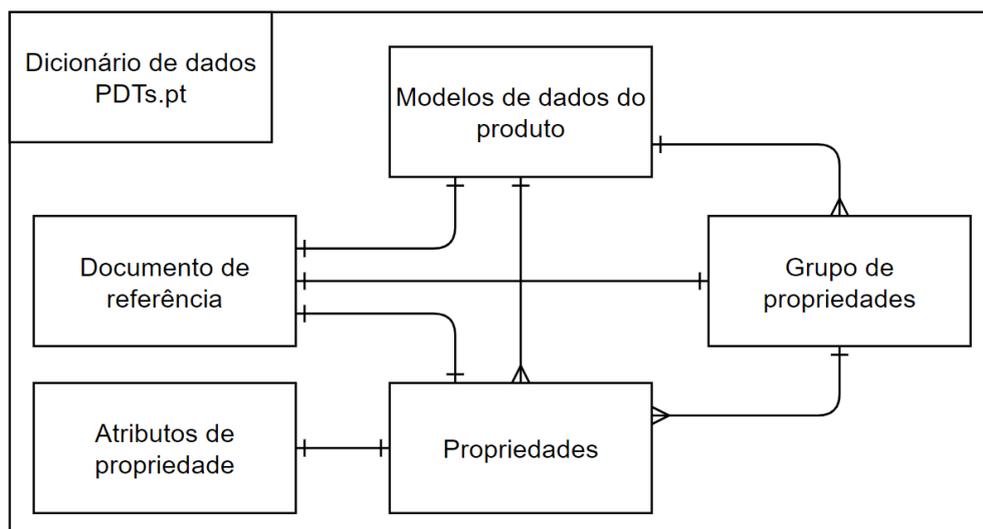


Figura 2
Modelo de dados da plataforma de PDT.

A EN ISO 23387 enfatiza a organização de propriedades em grupos, oferecendo assim uma metodologia abrangente para capturar dados relacionados ao produto. Essa abordagem é crucial para a criação de estruturas de dados coesas e significativas, permitindo uma representação holística das informações do produto. A plataforma segue diligentemente essa estrutura, garantindo que os modelos de dados do produto estejam conectados a grupos de propriedades e propriedades por meio de uma relação de um para muitos. Os grupos de propriedades estão conectados a propriedades com uma relação de um para muitos. Os Modelos de dados do produtos, os grupos de propriedades e as propriedades estão conectados a documentos de referência numa relação de um para um.

Paralelamente, a plataforma também está em conformidade com as especificações da EN ISO 23386, que governa principalmente a criação e gestão de dicionários de dados dentro do domínio. A EN ISO 23386 define conjuntos específicos de atributos a serem vinculados a grupos de propriedades e propriedades. Os atributos do grupo de propriedades estão dentro da tabela de Grupo de Propriedades, e os atributos das propriedades são colocados numa tabela dedicada. A inclusão dos atributos da propriedade numa tabela dedicada permite que uma propriedade tenha uma descrição geral na tabela de atributos e uma descrição específica no contexto do PDT em que a propriedade está inserida, quando a mesma propriedade é utilizada em vários PDT.

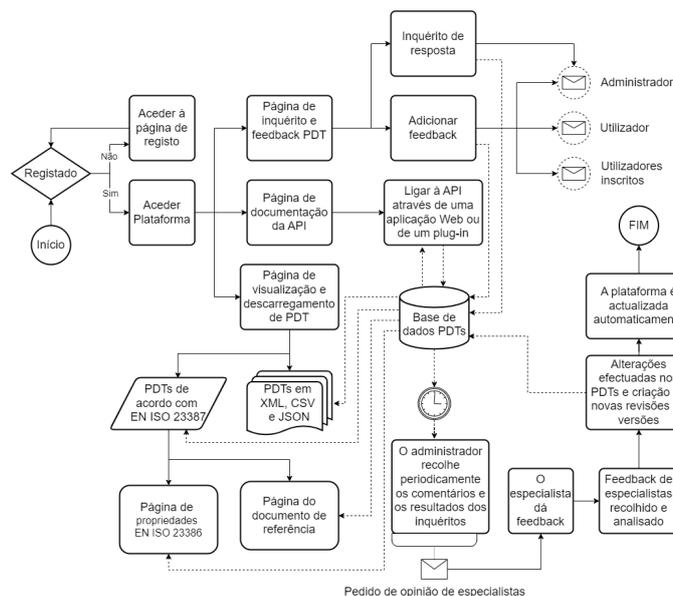
Além disso, a base de dados permite a definição de múltiplas versões de propriedades, mantendo um registo das versões mais antigas. O mesmo se aplica a modelos de dados de produtos e grupos de propriedades. A criação de novas revisões ou versões segue as recomendações definidas na EN ISO 23386. Este recurso permite que os PDT, grupos de propriedades e propriedades antigas permaneçam disponíveis após serem descontinuados. Isso permite que os utilizadores da plataforma rastreiem versões mais antigas e façam referência a elas em projetos onde versões mais antigas de um PDT foram usadas.

Um atributo de particular importância é o Identificador Único Global (GUID) atribuído a cada propriedade, o que aprimora a legibilidade por máquina, facilita a interoperabilidade eficiente de dados e a conexão com outros dicionários de dados. Além desses componentes estruturais, a plataforma incorpora tabelas para Respostas e Comentários, facilitando feedback colaborativo sobre PDT. Essa funcionalidade colaborativa capacita os utilizadores a contribuir com seus comentários e sugestões, promovendo assim uma cultura de melhoria contínua em conformidade com as diretrizes da EN ISO 23386.

2.3. Fluxo de Trabalho e Interface do Utilizador da Plataforma PDT

A plataforma PDT, PDTs.pt, apresenta uma interface amigável e intuitiva, projetada para otimizar a experiência do utilizador e simplificar a gestão de dados para PDT de construção. Aqui, é apresentada uma visão geral do fluxo de operação da plataforma e das principais características e funcionalidades disponíveis para os utilizadores. A página inicial da plataforma contém informações sobre o que são PDT, sobre a iniciativa, e os utilizadores podem consultar as entidades envolvidas nesta iniciativa e aceder ao formulário de contato sem fazer login. Após o registo, o acesso é concedido às páginas relacionadas aos PDT, conforme visto na Figura 3.

Figura 3
Fluxo de operação da plataforma PDT.



A página principal de Listagem de PDT apresenta aos utilizadores uma lista abrangente das versões mais recentes dos PDT disponíveis na base de dados, com dois botões ao lado de cada PDT, Visualizar ou Comentar. Clicar no botão Visualizar encaminha os utilizadores para a página de visualização detalhada apresentando os grupos de propriedades do PDT e as propriedades com as suas unidades, descrições e documentos de referência. No topo da página de Visualização de PDT, há três botões para descarregar o PDT em formato CSV, TEXTO e JSON. Essa funcionalidade é essencial para utilizadores que desejam extrair o PDT para uso e preenchimento sem necessidade de trabalhar com a API (ver Figura 4 (esquerda)).

Ao clicar no botão Comentar na página principal do PDT, o utilizador é levado à página de revisão e comentário, onde os utilizadores podem fornecer feedback por meio de comentários sobre propriedades nos PDT. Os utilizadores também podem responder aos comentários de outros utilizadores criando um ambiente para compartilhamento de conhecimentos e opiniões. Outra característica importante desta página é a secção de recolha de opiniões, onde os utilizadores podem rapidamente dar uma opinião sobre se usam uma propriedade ou não, seleccionando Sim, Não ou Sem opinião. Quando vários especialistas partilham as suas opiniões sobre um PDT, os dados podem então ser analisados e utilizados para fazer alterações nos PDT. Receber essas informações para propriedades num PDT ajudará a fornecer uma visão sobre propriedades importantes e destacar propriedades que não são importantes para a indústria (ver Figura 4 (direita)).

Viga de madeira v1.1.1 (Ativa)

Propriedade	Unidade	Descrição	Documento de referência	Quisição	Comentários
—Grupo de propriedades - Dados geométricos					
Vão	mm	Vão livre do fuste para a engiçna estática. ex. 8000	n/a	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
Curvatura	deg	O ângulo de curvatura da viga. Ex. 5	n/a	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
AreaSeccaoTransversal	m ²	Área da secção transversal da viga. ex. 0.06	n/a	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
AreaSuperficieExterior	m ²	A superfície lateral da viga, a área da secção transversal no início e no fim da viga não é tida em conta. ex. 8	n/a	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)
AreaSuperficieLiquida	m ²	Superfície líquida da viga, todas as aberturas e reentrâncias são deduzidas da área da superfície ex. 8.06	n/a	<input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não <input type="radio"/> Sem opinião	Comentários (0)

Figura 4
Página de Visualização e Download (esquerda),
Revisão e Comentários (direita).

Em toda a plataforma, todas as propriedades têm um hiperlink para uma página que mostra os atributos das propriedades no dicionário de dados, com base na EN ISO 23386. A maioria dos valores dos atributos é inserida manualmente pelo utilizador na base de dados, no entanto, alguns atributos são recuperados usando consultas MySQL. De acordo com as diretrizes da EN ISO 23386, alguns atributos das propriedades são calculados e não necessariamente fornecidos pelos utilizadores. Um exemplo são os atributos "Lista de propriedades substituídas" e "Lista de propriedades substitutas", que indicam as versões anteriores e novas da propriedade em questão. As versões das propriedades nesses atributos tem um hiperlink para levar à página dos atributos da propriedade seleccionada (ver Figura 5 (esquerda)). No final desta página, uma tabela mostra todos os PDT que incluem essa propriedade e suas versões. Essas informações são consultadas na base de dados e também tem um hiperlink para levar aos PDT mencionados.

As *gateways* da API da plataforma podem ser encontradas na página "Documentação da API" acessível na barra de navegação. Nesta página, há uma lista de *gateways* de API com uma descrição dos dados enviados pela plataforma após o *gateway* ser questionado (ver Figura 5 (direita)). Finalmente, a plataforma é projetada para enviar notificações aos administradores da plataforma quando respostas e comentários são adicionados aos PDT. Além disso, as respostas e comentários dos utilizadores são coletados e analisados periodicamente, enviados a especialistas para feedback, e então alterações são feitas de acordo nos PDT.

Figura 5
Página de atributos da propriedade mostrando os atributos (esquerda), Gateways da API conforme exibido na plataforma PDT (direita).

Vao - V1.1 Ativa		API de Modelos de Dados de Produtos	
GUID	65f226d5022e4488a0edf34c637447a0	Obter Template de Dados de Produtos	Retorna o modelo de dados do produto com o ID especificado, com grupos de propriedades, propriedades, atributos de propriedades do dicionário de dados e documentos de referência relevantes.
Nome En	Span	<code>GET /api/{pdtID}</code>	
Nome Pt	Vão	Obter Todos os Modelos de Dados de Produtos	Retorna todos os templates de dados de produtos.
Descrição En	Clear span of the beam for the static requirement. ex. 8000	<code>GET /api/productDataTemplates</code>	
Descrição Pt	Vão livre do fex para a exigência estática. ex. 8000	Obter Conteúdo do Dicionário de Dados	Retorna o dicionário de dados para os templates de dados de produtos.
Unidades	mm	<code>GET /api/data@dictionary</code>	
Estado	Active	Obter uma propriedade do Dicionário de dados	Retorna uma propriedade e seus atributos do dicionário de dados.
Data de criação	2022-06-05	<code>GET /api/data@dictionary/{id}</code>	
Data de ativação	2022-06-05		
Data da última alteração	2022-06-05		
Data de revisão	2022-06-05		
Data da versão	2022-06-05		
Versão	1		
Revisão	1		
Lista de propriedades substituídas			
Lista de propriedades de substituição			

3. Conclusão

No panorama em evolução da indústria da construção, a adoção da digitalização, particularmente através do BIM, representa uma mudança de paradigma. Um dos principais desafios encontrados nesta transição é a complexidade dos dados de construção e a necessidade de uma gestão eficaz. A resolução destes desafios torna-se imperativa, e o papel dos Modelos de Dados de Produtos (PDT) surge como um fator crucial neste processo de digitalização. No entanto, a adesão às normas PDT, como a EN ISO 23386, EN ISO 23387, EN ISO 22057 e os requisitos de dados especificados pelos guias de objetos BIM e os requisitos da indústria, como a marcação CE e as EPD, representam um obstáculo significativo. O cumprimento destes critérios rigorosos exige uma abordagem metódica à gestão de dados. Numa publicação anterior dos autores [15], foi proposto um método normalizado para a criação de PDT para ajudar os profissionais a criar PDT que cumpram as normas da indústria e uma plataforma para PDT. No entanto, essa plataforma foi objeto de alterações profundas para garantir a sua conformidade com as normas emergentes dos PDT.

A plataforma nova, construída em Laravel e MySQL, cumpre a norma EN ISO 23387, alinhando a estrutura da base de dados da plataforma com a estrutura que propõe. Também está em conformidade com a norma EN ISO 23386, ligando conjuntos específicos de atributos propostos na norma às propriedades e grupos de propriedades, facilitando a rastreabilidade, a interoperabilidade com outros domínios através da utilização de GUID e permitindo um controlo de versões dos PDT. Além disso, a plataforma fornece um canal de recolha de opiniões para receber comentários do sector sobre os PDT, em conformidade com as orientações da norma EN ISO 23386. Por

último, a plataforma permite a integração com aplicações e plugins externos através de *gateways* API designados. A plataforma proposta oferece um ecossistema abrangente para dados de construção. Ao fornecer uma base fiável para a gestão de PDT, aborda os desafios colocados pela digitalização no sector da construção. As capacidades da plataforma, incluindo uma base de dados robusta, fluxos de feedback colaborativos e integração de API, posicionam-na como um meio para uma utilização de dados eficiente, exata e interligada.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do acordo de subsídio MPP2030-FCT-2022 atribuído ao 1.º autor. Também é 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 a referência UIDB/04029/2020 ; pelo projeto de inovação e desenvolvimento (I&D) RoboShot@FRC - Robotized system for the shotcrete of optimized fibre reinforced concrete in railway tunnels com referência POCI-01-0247-FEDER-047075. O apoio financeiro dos projetos REV@Construction e RecycleBIM também é reconhecido.

Referências

- [1] A. Pavan, C. Mirarchi, G. Amosso, L. M. Nesa, D. Pasini, B. Daniotti, & S. L. Spagnolo, BIMReL: A new BIM object library using Construction Product Regulation attributes (CPR 350/11; ZA annex). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012052>.
- [2] M. Cassano & M. L. Trani, LOD Standardization for Construction Site Elements. *Procedia Engineering*, 196 (2017), 1057-1064. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.062>.
- [3] J. C. P. Cheng, W. Chen, K. Chen, & Q. Wang, Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112 (2020), 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>.
- [4] L. Joblot, T. Paviot, D. Deneux, & S. Lamouri, Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-PapersOnLine*, 50 (2017), 10518-10525. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1298>.
- [5] M. N. Lucky, D. Pasini, & S. Lupica Spagnolo, Product Data Management for Sustainability: An Interoperable Approach for Sharing Product Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012053>.

- [6] J. Wu, H. L. Sadraddin, R. Ren, J. Zhang, & X. Shao, Invariant Signatures of Architecture, Engineering, and Construction Objects to Support BIM Interoperability between Architectural Design and Structural Analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147 (2021) 04020148. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001943](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001943).
- [7] J. Wu & J. Zhang, New Automated BIM Object Classification Method to Support BIM Interoperability. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33 (2019) 04019033. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000858](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000858).
- [8] S. L. Spagnolo, G. Amosso, A. Pavan, & B. Daniotti, BIMReL: The Interoperable BIM Library for Construction Products Data Sharing. *Research for Development*, (2020) 37-47. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0_4.
- [9] G. Gudnason & P. Pauwels, SemCat: publishing and accessing building product information as linked data. S. Christodoulou, R. Scherer (Eds.), *eWork Ebus. Archit. Eng. Constr. Proc. 11th Eur. Conf. Prod. Process Model. (ECPPM 2016)*. CRC Press. (2016), pp. 659-666.
- [10] R. Kebede, A. Moscati, & P. Johansson, Semantic web for information exchange between the building and manufacturing industries: a literature review. (2020) 248-265.
- [11] A. Tomczak, L. V. Berlo, T. Krijnen, A. Borrmann, & M. Bolpagni, A review of methods to specify information requirements in digital construction projects. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* (2022). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092024>.
- [12] M. El Sibaii, R. Rocha Ribeiro, R. Dias, J. R. Pinto, J. Granja, & M. Azenha, Towards Standardization of Data for Structural Concrete: Product Data Templates. In A. Jędrzejewska, F. Kanavaris, M. Azenha, F. Benboudjema, & D. Schlicke, eds., *Synercrete'23 – Int. RILEM Conf. Synerg. Expert. Towar. Sustain. Robustness Cem. Mater. Concr. Struct.* (Cham: Springer Nature Switzerland, 2023), pp. 263-275.
- [13] M. Hooper, *BIM Anatomy II: Standardization needs & support systems* (2015).
- [14] R. Almeida, L. Chaves, M. Silva, M. Carvalho, & L. Caldas, Integration between BIM and EPDs: Evaluation of the main difficulties and proposal of a framework based on ISO 19650:2018. *Journal of Building Engineering*, 68 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106091>.
- [15] M. El Sibaii, J. Granja, R. R. Ribeiro, P. Meda, R. Resende, J. dos Santos, P. L. Martins, A. A. Costa, J. P. Martins, & M. Azenha, Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197. *4º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM*, (2022) 245-256. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.21>.

- [16] Europa, CE marking. (n.d.). https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_en.htm (accessed March 15, 2021).
- [17] EPD, EPD International. (n.d.). <https://www.environdec.com/home> (accessed July 20, 2021).
- [18] buildingSMART, buildingSMART Data Dictionary. (2021). <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/> (accessed May 31, 2021).
- [19] EN ISO 23387, EN ISO 23387:2020 - Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles. (2020). <https://www.iso.org/standard/75403.html> (accessed March 15, 2021).
- [20] EN ISO 23386, EN ISO 23386:2020 - Building information modelling and other digital processes used in construction – Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries. (2020). <https://www.iso.org/standard/75401.html> (accessed March 15, 2021).
- [21] M. Signorini, S. Frigeni, & S. L. Spagnolo, Integrating environmental sustainability indicators in BIM-based product datasheets. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012028>.
- [22] prEN 17549-1, Building Information Modelling (BIM) - Information structure based on EN ISO 16739 1:2018 to exchange data templates and data sheets for construction objects – Part 1: Data templates and configured construction objects. (n.d.).
- [23] EN ISO 22057, EN ISO 22057 – Sustainability in buildings and civil engineering works – Data templates for the use of EPDs for construction products in BIM. (2022). https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=CEN:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_ORG_ID:71864,481830&cs=1E1BB3916E7E70C84AFC181AD83D1D85B (accessed December 27, 2023).
- [24] EN 17412-1, Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles. (2020).
- [25] CIBSE, The BIMHawk Toolkit | Published PDTs. (2023). <https://www.bimhawk.co.uk/pdtlist2.php> (accessed September 15, 2023).
- [26] NBS, NBS Source. (n.d.). <https://source.thenbs.com/> (accessed Feb. 7, 2023).
- [27] B. Succar & E. Poirier, Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. *Automation in Construction*, 112 (2020) 103090. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103090>.

- [28] S. Palos, A. Kiviniemi, & J. Kuusisto, Future perspectives on product data management in building information modeling. *Construction Innovation*, 14 (2014) 52-68. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2011-0080>.
- [29] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, & J. Kiegeland, a Platform-Independent Product Library for Bim. *30th CIB W78 International Conference*, (2013) 389-399.

Aplicação e otimização do REVIT e o BIM nas instalações hidrossanitárias

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.8>

Bárbara Norões¹, Saul Ferreira², José Oliveira³

¹ Centro Universitário Christus, Fortaleza, 0000-0001-7279-9382

² Centro Universitário Christus, Fortaleza, 0000-0002-0941-9161

³ Centro Universitário Christus, Fortaleza, 0000-0002-2417-9653

Resumo

A aplicação da modelagem da informação veio para revolucionar a indústria da construção civil por meio da integração de todas as etapas e profissionais envolvidos no processo de execução de um empreendimento a partir da sua construção virtual, permitindo a previsão de inconformidades e maior assertividade na tomada de decisões, impactando diretamente no desempenho da obra. Voltado ao projeto de instalações hidráulicas e sanitárias, a aplicação dessa metodologia por meio do Revit MEP concebe um projeto com maior nível de detalhamento das tubulações, dos acessórios e das conexões, auxiliando na quantificação, na orçamentação e na compreensão durante a execução no canteiro de obras. A fim de otimizar a etapa de modelagem, esse software conta com o recurso de agrupamento de famílias, o qual permite a criação de um bloco composto pela união de diversos elementos, facilitando a sua reaplicação. Nesse contexto, esse artigo tem como objetivo analisar a produtividade de dois profissionais durante a modelagem das instalações de água fria, água quente, esgoto e ventilação de um pavimento tipo residencial, para isto, realizou-se a medição do tempo que cada profissional demandou construindo virtualmente o mesmo projeto com e sem o recurso de agrupamento de famílias, identificando-se um aumento na produtividade de 29,40% e 60,70%, respetivamente, de forma a validar a influência dessa ferramenta na otimização do trabalho dos modeladores.

1. Introdução

A construção civil no Brasil passa por um processo no qual o mercado está cada vez mais competitivo com a busca da redução de custos e de desperdícios desde a concepção à entrega da obra, visando à obtenção de qualidade, de segurança e de agilidade durante as etapas de projeto, de orçamento, de planejamento e de execução dos empreendimentos.

A etapa de elaboração de projetos é de suma importância, pois o detalhamento, a integração e a compatibilização entre as disciplinas são imprescindíveis para uma maior assertividade no planejamento e na previsão de custos; tendo como consequência a redução de imprevistos, isto é, retrabalhos e custos adicionais. Além de gerar uma maior segurança, qualidade e desempenho ao empreendimento.

A metodologia BIM é uma filosofia de trabalho que integra arquitetos, engenheiros e construtores (AEC) na elaboração de um modelo virtual preciso, que gera uma base de dados composta por informações topológicas, além de conter subsídios necessários para geração do orçamento, cálculo energético e previsão de insumos e ações em todas as fases da construção [4].

De acordo com [5] BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, combinados, geram uma metodologia para gerenciar o processo de projetar uma edificação ou instalação e ensaiar seu desempenho, gerindo suas informações e dados, utilizando plataformas digitais embasadas em objetos virtuais, através de todo seu ciclo de vida.

Dentre os softwares aplicados para o desenvolvimento de modelos BIM, o Revit tem sido o mais utilizado por apresentar uma solução completa: arquitetura, estrutura e instalações (MEP: Mechanical, Electrical and Plumbing) de modelagem de edificações. A Autodesk fornece uma suíte (conjunto de programas computacionais), englobando além dos programas computacionais de modelagem e projeto, outros de gerenciamento e análise (Navisworks, Robot e Ecotec, por exemplo), tornando a empresa líder no ramo [8].

No Brasil a Autodesk ganhou maior visibilidade após a realização do treinamento para introdução do BIM ao Exército, em 2006, em virtude da alta demanda de processos. Durante esse treinamento, os *softwares* utilizados foram o Revit Architecture e o Revit MEP para projetos de arquitetura e complementares, respectivamente. [1]

O Revit MEP aplicado à disciplina de Sistemas Prediais Hidráulicos e Sanitários (SPHS) propicia objetos parametrizados ao projetista, de forma a contribuir na qualidade final, no desenvolvimento do projeto e no atendimento dos requisitos da norma de desempenho. Como resultado, tem-se um projeto com elevado grau de detalhamento, além da redução do tempo para produção de novos detalhamentos, quando comparado ao software Computer-Aided Design (CAD) [2].

Além disso, esse programa conta com algumas ferramentas, como é o caso do agrupamento de famílias, que permite a união de diversos elementos formando um único bloco, sua replicação no projeto das instalações SPHS evita o retrabalho do profissional.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo analisar o ganho de produtividade na elaboração do projeto hidrossanitário de um pavimento tipo de uma edificação residencial multifamiliar. Assim, serão desenvolvidos os projetos das instalações hidráulicas e sanitárias, compostas pelos sistemas de esgoto, ventilação, água fria e água quente das áreas molhadas com auxílio do Revit MEP e do recurso de modelagem com e sem o uso da ferramenta de agrupamento de famílias, visando à comparação do tempo demandado para conclusão das referidas instalações em cada etapa.

2. Referencial teórico

2.1. BIM

O BIM é definido como uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados, para produzir, comunicar e analisar modelos de uma construção (edifícios e outras obras de engenharia civil, incluindo elementos estruturais, não-estruturais e geotécnicos), a qual possibilita a rigorosa transmissão da informação de engenharia sem a necessidade de desenhos detalhados [3].

A criação do modelo BIM se dá em um sistema composto por vários tipos de segmentos, com diferentes objetivos e partes de informação, mas dependentes entre si, devendo haver uma colaboração e compartilhamento de dados, ocorrida sem sobresaltos para garantir que o significado não seja prejudicado [9].

2.2. Parametrização

Para [10] uma das características pertinentes à plataforma BIM é a parametrização dos objetos, que representa a incorporação de informações que ditam a forma que determinado componente vai se relacionar com o projeto geral. Por meio da parametrização, objetos podem ter inúmeras propriedades conforme o projetista necessitar, por exemplo, a representação gráfica de uma parede deixa de ser apenas uma linha e passa a ser um elemento composto virtualmente de todos os componentes reais: tijolos, massa, revestimento, podendo ser atribuídos os custos.

Os parâmetros podem ser divididos em dois diferentes tipos: os que são capazes de armazenar informações sobre as formas dos elementos, posição, dimensões e os que armazenam características dos elementos como material, requisitos legais, preço e fabricante [11].

Outro diferencial no uso da metodologia BIM é a capacidade do usuário de adicionar novas características e funções específicas, por meio de plug-ins compatíveis com estes programas. Um exemplo prático é o TigreCAD e o AmancoWAVIN, que são add-ins fornecidos pelas empresas Tigre e Amanco, respectivamente, que podem ser

instalados como um complemento ao Revit MEP inserindo elementos parametrizados de acordo com a sua comercialização no mercado para execução de projetos hidrossanitários [10].

3. Métodos

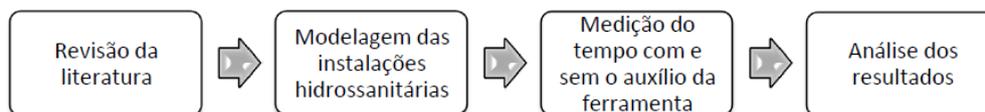
Esta pesquisa foi fundamentada na abordagem quali-quantitativa e possui caráter exploratório descritivo com estudo de caso. Conforme [6], a pesquisa bibliográfica é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral. Fornece instrumental analítico para qualquer outro tipo de pesquisa, mas também pode esgotar-se em si mesma; o material publicado pode ser fonte primária ou secundária.

Para [7], a pesquisa quantitativa busca a validação das hipóteses mediante a utilização de dados estruturados, estatísticos, com análise de muitos casos representativos, recomendando um curso final da ação. Ela quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados.

A metodologia desse trabalho consiste num estudo de caso de caráter experimental voltado à análise da produtividade de dois projetistas durante o processo de modelagem das instalações hidráulicas e sanitárias de um apartamento tipo utilizando ferramentas BIM.

A elaboração deste trabalho foi dividida em quatro etapas, conforme a Figura 1.

Figura 1
Fluxograma da pesquisa.



A revisão de literatura permitiu a fundamentação dos conceitos BIM e da sua aplicação no desenvolvimento de projetos hidrossanitários por meio de livros, revistas, periódicos, artigos e normas vigentes.

O projeto arquitetônico adotado consiste num pavimento tipo residencial composto por três banheiros denominados BH1, BH2 e BH3, os quais possuem bacia sanitária com caixa acoplada, lavatório, chuveiro e ducha higiênica, assim como ilustrado na Figura 2.



Figura 2
Planta baixa pavimento tipo.

Observa-se que no BH2 e o BH3 compartilham o shaft para atender às instalações. Além disso, o BH3 não possui ducha higiênica e instalação da água quente no chuveiro.

Durante o processo de modelagem das instalações hidrossanitárias, foram instaladas as famílias dos fornecedores Amanco, Docol e Celite para aplicação das tubulações, das conexões, dos acessórios, das louças e dos metais.

Inicialmente, cronometrou-se o tempo demandado para projetar todos os elementos que compõem o sistema de esgoto e de água dos três banheiros sem o uso do recurso de agrupamento.

Em seguida, foram elaborados doze agrupamentos de famílias e, por fim, mediu-se o tempo para modelagem com o auxílio desses grupos: caixa sifonada com ventilação; coluna de esgoto banheiro duplo; coluna de ventilação; esgoto bacia sanitária; esgoto lavatório; ralo extremidade; ralo intermediário; shaft água fria e água quente; água fria bacia sanitária; água fria bacia sanitária e ducha; água fria chuveiro e água fria lavatório.

Já na etapa de análise dos resultados e conclusão, o foco fora direcionado para a análise da (in)efetividade da utilização de agrupamentos, de forma a comparar o intervalo de tempo de modelagem sem agrupamento com a soma do tempo de geração dos grupos e de sua aplicação.

Vale ressaltar que durante a elaboração da pesquisa, os dois projetistas eram alunos recém-formados no curso de graduação em engenharia civil. O Projetista 1 não possui familiaridade com o programa, tendo apenas um curso básico de modelagem de instalações no software Revit, já o Projetista 2 está na segunda modelagem da disciplina.

4. Resultados e discussão

Inicialmente, realizou-se a medição de tempo contínuo do Projetista 1 e do Projetista 2 para a modelagem dos banheiros BH1, BH2 e BH3 sem o auxílio do recurso de agrupamento de famílias, os resultados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Tempo para modelagem sem o auxílio do recurso de Agrupamento de Famílias

Profissional	Tempo (h:min:seg)
Projetista 1	04:29:21
Projetista 2	04:36:53

As Figuras 3 e 4 ilustram as plantas baixas do BH1, BH2 e BH3 elaboradas pelo Projetista 1 e Projetista 2, respectivamente. Por sua vez, os QR Codes disponíveis na Figura 5 evidenciam as modelagens em realidade aumentada a partir do aplicativo Augin.

Figura 3
Planta Baixa BH1.

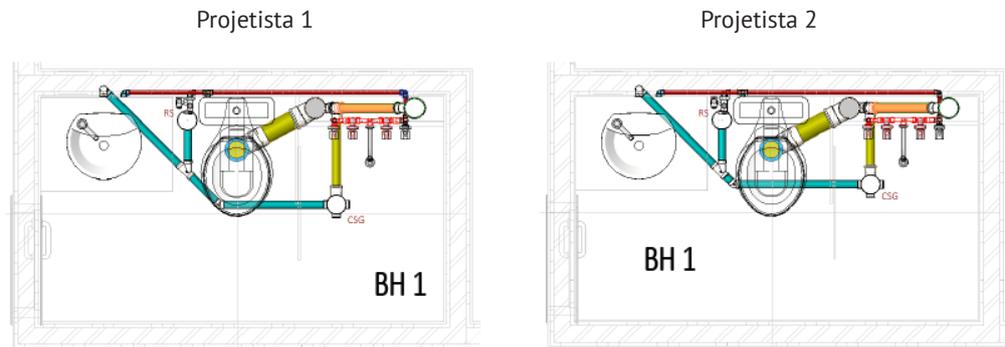
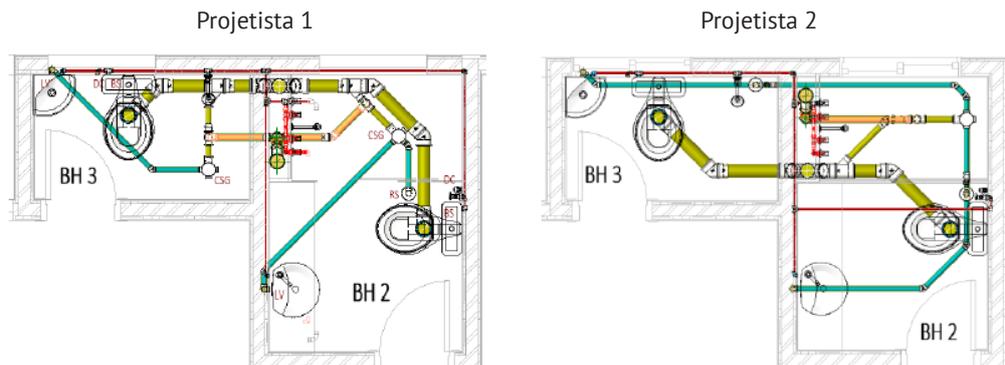


Figura 4
Planta Baixa BH2 e BH3.



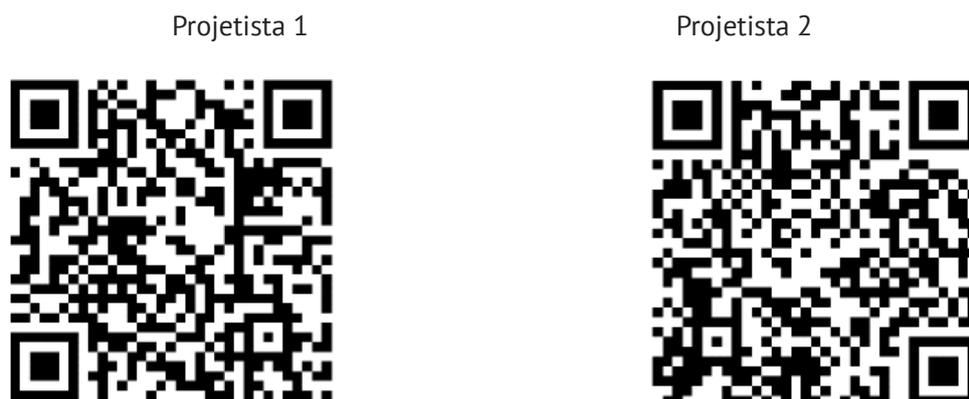


Figura 5
QR Codes para visualização das modelagens em realidade aumentada no Augin.

Em seguida, o tempo para elaboração dos doze agrupamentos de famílias foi cronometrado por cada projetista e os resultados estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Tempo para modelagem dos Agrupamentos de Famílias

Profissional	Tempo (h:min:seg)
Projeta 1	00:31:59
Projeta 2	00:15:44

As Figuras 6 e 7 apresentam alguns dos agrupamentos realizados por ambos, visando ao aumento da produtividade durante a próxima etapa de modelagem das instalações hidráulicas e sanitárias.

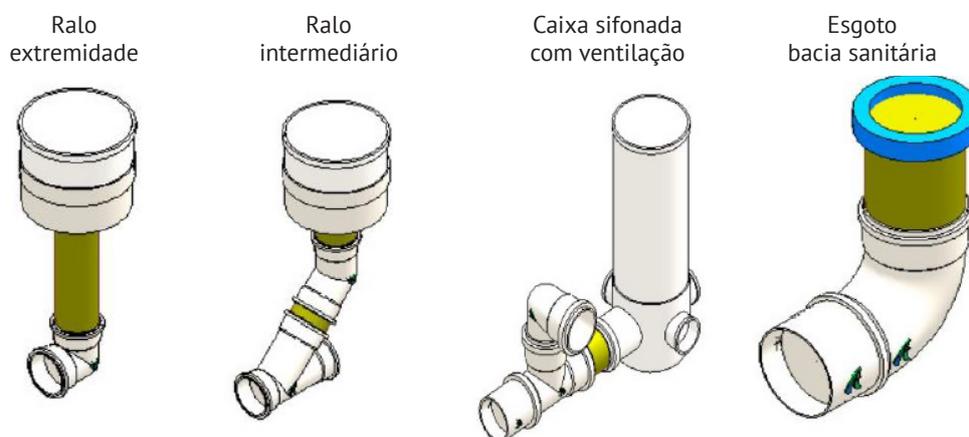
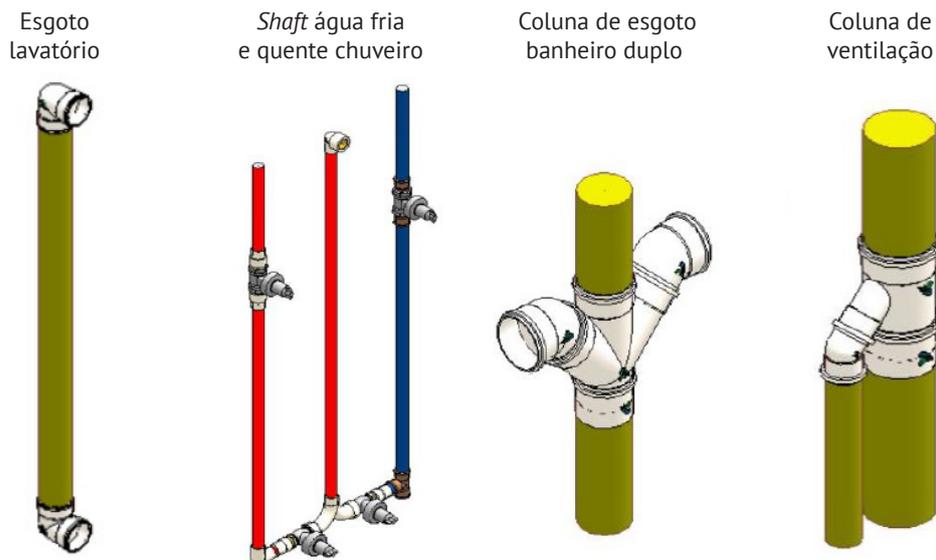


Figura 6
Agrupamento de famílias.

Figura 7
Agrupamento de famílias.



Nesta última fase, os projetistas mediram novamente o tempo de modelagem dos banheiros com a mesma solução das instalações hidráulicas e sanitárias, contudo, utilizando os agrupamentos das famílias de conexões. Obtendo-se os seguintes resultados na Tabela 3.

Tabela 3: Tempo para modelagem com o auxílio do recurso de Agrupamento de Famílias

Profissional	Tempo (h:min:seg)
Projetista 1	02:38:08
Projetista 2	01:33:04

Para calcular a produtividade, utilizou-se a Equação 1:

$$GP = \frac{(T_{sa} - (T_{af} + T_{ca})) * 100\%}{T_{sa}} \quad (1)$$

Onde:

GP: Ganho de produtividade;

T_{sa} : Tempo medido para modelagem sem utilização de grupos;

T_{af} : Tempo medido para agrupar famílias;

T_{ca} : Tempo medido para modelagem com utilização de grupo.

A Tabela 4 apresenta, resumidamente, o tempo demandado por cada projetista para as diferentes etapas do trabalho.

Tabela 4: Resumo dos tempos medidos nas diferentes etapas do trabalho

Profissional	Modelagem sem agrupamento	Agrupamento de famílias	Modelagem com agrupamento
Projetista 1	04:29:21	00:31:59	02:38:08
Projetista 2	04:36:53	00:15:44	01:33:04

Com base nesses dados, será calculado, primeiramente, o ganho de produtividade do Projetista 1, substituindo os valores na Equação 1.

$$GP_{P1} = \frac{(04:29:21,13 - (00:31:59,33 + 02:38:08,88)) * 100\%}{04:29:21,13} \quad (2)$$

Convertendo todas as unidades para horas, temos a seguinte equação:

$$GP_{P1} = \frac{(4,489 - (0,533 + 2,636)) * 100\%}{4,489} \quad (2)$$

$$GP_{P1} = 29,4\%$$

Portanto, o ganho de produtividade do Projetista 1 corresponde a 29,40% com relação ao tempo total demandado para modelagem sem o recurso de agrupamento.

Seguindo o mesmo passo a passo anterior, obtêm-se os seguintes resultados para o Projetista 2:

$$GP_{P2} = \frac{(04:36:53,00 - (00:15:44,07 + 01:33:04,58)) * 100\%}{04:36:53,00} \quad (3)$$

$$GP_{P2} = \frac{(4,615 - (0,262 + 1,551)) * 100\%}{4,615} \quad (3)$$

$$GP_{P2} = 60,7\%$$

Por sua vez, o ganho de produtividade do Projetista 2 corresponde a 60,70% com relação ao tempo mensurado na primeira etapa. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelos dois Projetistas durante as três etapas e

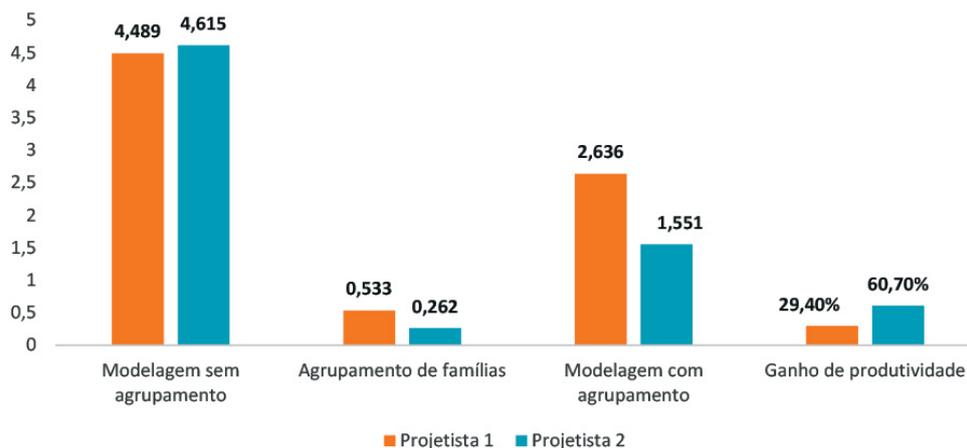
o Gráfico 1 transcreve essas informações, onde o eixo y corresponde ao tempo em horas e o eixo x ao resultado por etapa.

Tabela 5: Resultados por etapa

Profissional	Modelagem sem agrupamento	Agrupamento de famílias (H)	Modelagem com agrupamento (H)	Ganho de produtividade
Projetista 1	4,489	0,533	2,636	29,4%
Projetista 2	4,615	0,262	1,551	60,7%

Gráfico 1

Análise dos resultados obtidos nas três etapas.



Conforme os resultados apresentados, observa-se que o Projeta 1 obteve uma redução em 1 hora e 19 minutos. Em contrapartida, o Projeta 2 atingiu uma redução de 2 horas e 48 minutos, correspondendo uma redução de 29,40% e 60,70%, respectivamente.

5. Conclusão

A etapa de elaboração de projetos de instalações hidrossanitárias com o uso da metodologia BIM gera um projeto com maior nível de detalhamento das tubulações, dos acessórios e das conexões, facilitando a quantificação, orçamentação e compreensão dentro do canteiro de obras.

Esse trabalho alcançou os seus objetivos na análise da produtividade no decorrer das etapas da elaboração do projeto das instalações hidráulicas e sanitárias, utilizando o software Revit em sua modelagem, por meio do recurso de agrupamento de famílias das conexões de água e esgoto.

Dessa forma, observou-se uma otimização de tempo de elaboração do projeto, utilizando o agrupamento de famílias das conexões, que correspondeu a 29,40%, isto é, uma redução de 1 hora e 19 minutos em comparação ao tempo de modelagem sem o uso do agrupamento de famílias, desenvolvido pelo Projeta 1.

Por sua vez, o Projeta 2 apresentou uma redução de 2 horas e 48 minutos, totalizando um aumento de produtividade de 60,70% com relação ao tempo inicial.

Assim, foi possível identificar um aumento considerável na produtividade dos profissionais, de forma a validar a influência do recurso na redução do tempo requerido durante a modelagem das instalações dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários.

Referências

- [1] C. S. Érica, A. P. C. Pereira, A. L. Amorim, “Difusão e Apropriação do Paradigma BIM no Brasil”, *Gestão & Tecnologia de Projetos* (2013), São Paulo, Brasil, 2013, vol. 8, n. 1, pp. 8-19, doi: 10.4237/gtp.v1i8.232.
- [2] C.-H.-A Costa, M.-S.-O. Ilha, “Componentes BIM de sistemas prediais hidráulicos e sanitários baseados em critérios de desempenho,” *Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído* (2017), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, 2017, vol. 17, n. 2, pp. 157-174. ISSN 1678-8621.
- [3] B. Becerik-Gerber, K. Kensek, “Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction: Emerging Research Directions and Trends. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*” University of Southern California (2010), Los Angeles, United States, 2010, vol. 136, pp. 139-147. doi: 10.1061/ASCEEI.1943-5541.0000023.
- [4] 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.
- [5] CBIC, *Fundamentos BIM: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*, Câmara Brasileira da Indústria da Construção, vol. 1, 2016.
- [6] S. C. Vergara, *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. Atlas, 3. ed, Rio de Janeiro, 2000.
- [7] F. N. Mattar, *Pesquisa de marketing*, Atlas, 3.ed, São Paulo, 2001.
- [8] M. M. Maria, “Tecnologia BIM na Arquitetura”, *Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo*, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, 2008.
- [9] E. N. Costa, “Avaliação da metodologia BIM para a compatibilização de projetos”, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, 2013.
- [10] D. L. Auster, “Uso do BIM para compatibilização e modelagem de projetos hidráulicos prediais”, *Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, 2015.
- [11] F. C. Ayres, “Acesso ao modelo integrado do edifício”, *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil*, Universidade Federal do Paraná, Paraná, Brasil, 2009.

Proposta de modelos de dados de produto para túneis ferroviários

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.9>

**Mohamad El Sibaii¹, Débora Pinto²,
Luís Sanhudo², João Poças Martins^{2,3},
Hugo Patrício⁴, José Granja¹, Miguel Azenha¹**

*1 Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-0810-9241 (MS),
0000-0002-0858-4990 (JG), 0000-0003-1374-9427 (MA)*

2 BUILTCLAB, Porto, 0000-0001-9468-7779 (DP), 0000-0002-2578-6981 (LS)

3 CONSTRUCT-FEUP, Porto 0000-0001-9878-3792 (JPM)

4 Infraestruturas de Portugal

Resumo

O presente trabalho está integrado no projeto RoboShot@FRC que tem como objetivo implementar uma nova geração de cabeça de projeção de Betão Reforçado com Fibras (BRF), suportada num braço robótico, para aplicação em túneis ferroviários. O suporte digital inerentemente necessário compreende o recurso a metodologias BIM, permitindo a padronização da troca de dados, e integração das inovações com propósitos de projeto, construção e gestão de ativos. Nesta vertente de padronização, o presente artigo foca-se no desenvolvimento e implementação de Modelos de Dados de Produto (na sigla inglesa PDTs – Product Data Templates), uma vez que ainda não existe uma proposta a nível nacional para túneis ferroviários. Os PDTs servem como estruturas organizadas que caracterizam minuciosamente a informação não-gráfica que pode ser de relevo em elementos indispensáveis em túneis ferroviários, como por exemplo: o carril, a travessa e o balastro. Neste artigo são ilustrados os procedimentos concretos adotados para a criação dos PDT dos seguintes produtos: balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação dos carris, betão projetado com fibras, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento. Explicam-se as principais fontes de informação tidas em conta, e a razão para as escolhas efetuadas. Com isto pretende-se contribuir para facilitar a divulgação e discussão destes PDTs em particular, que já se encontram disponíveis no website PDTs.pt, aptos para implementação prática.

1. Introdução

A construção e reabilitação ferroviária apresentam desafios únicos no sector das infra-estruturas. A natureza complexa dos sistemas ferroviários, envolvendo carris, pontes, túneis e sistemas de sinalização, exige um planeamento cuidadoso para garantir uma integração e funcionalidade perfeitas. Problemas comuns na construção ferroviária incluem a necessidade de alinhamento e nivelamento precisos dos carris, abordando questões de estabilidade dos terrenos e garantindo a integridade estrutural de pontes e túneis. Além disso, a manutenção é um aspeto crítico, com fatores como o desgaste, as condições ambientais e a natureza dinâmica das operações ferroviárias que colocam desafios contínuos. No meio destes desafios, o setor das infraestruturas ferroviárias está a passar por uma transformação digital significativa, tal como muitos outros setores da indústria da construção. Esta evolução é sublinhada pela adoção imperativa de metodologias “*Building Information Modeling*” (BIM) [1, 2].

No processo de digitalização e adoção da metodologia BIM, há uma procura crescente por representações digitais precisas de produtos de construção. A geração desses modelos digitais é facilitada pela utilização de classes/instâncias de objetos BIM, que servem como representações digitais de produtos, sistemas ou vários elementos de construção. Essas representações devem abranger informações exaustivas, incluindo, mas não se limitando a, desempenho, sustentabilidade, manutenção para além dos dados de geometria [3]. A qualidade dos objetos BIM está intimamente ligada à qualidade das informações associadas, que impactam a sua usabilidade pelos diversos intervenientes ao longo das diferentes fases dos processos de projeto e construção [4, 7].

Os dados associados a produtos de construção devem abranger diversos tipos de informações prescritas por diferentes intervenientes em diferentes momentos do ciclo de vida de um empreendimento. Uma parte dessas informações é estipulada na Europa pela diretiva *Construction Products Regulation* (CPR) por meio das Declarações de Desempenho (DoP). Dependendo da classe do produto, essas declarações seguem padrões europeus harmonizados, levando, em última instância, à aplicação da marcação CE. O desafio reside na definição e padronização dos dados necessários, no formato correto dentro dos objetos BIM que representam esses produtos. Esse processo tem-se mostrado particularmente árduo. É essencial que os objetos BIM sigam condições específicas de qualidade e nomenclatura de informações, facilitando a interoperabilidade com IFC (*Industry Foundation Classes*), ao mesmo tempo em que estejam alinhados com padrões/diretrizes estabelecidos para objetos BIM [8], e levando em consideração as informações necessárias para uma fase específica do empreendimento [4, 9].

Nos últimos anos, foram emitidos vários padrões e diretrizes para apoiar a definição dos requisitos de dados de modelos/objetos BIM ao longo de seu ciclo de vida. Como exemplo, menciona-se a atividade do comitê CEN/TC442, que emitiu as normas EN ISO 23386:2020 [10], EN ISO 23387:2020 [11] e EN17412-1:2020 [12] sobre

Modelos de Dados de Produto e Nível de Informação Necessário. No entanto, esses padrões são inerentemente genéricos, não fornecendo informações específicas para padronizar dados alfanuméricos para materiais/produtos de construção e, portanto, não são diretamente aplicáveis aos processos quotidianos na indústria. Este esforço de concretização adicional é algo que é relegado para cada país/contexto padronizar de acordo com as suas realidades locais. Além disso, na literatura existem inúmeros trabalhos sobre a normalização de dados na indústria da construção, mas existe uma lacuna significativa na definição dos requisitos precisos de dados dos produtos de construção [4, 9, 13, 16].

Os Modelos de Dados de Produto (PDTs) contribuem de maneira central para a solução dos desafios mencionados [17]. A ISO 23387 define 'Modelos de Dados' como estruturas de dados normalizadas e interoperáveis usadas para descrever as características de produtos de construção, sistemas e objetos. Os Modelos de Dados apoiam os dados de objetos/produtos de construção garantindo a troca de informações legíveis por máquina entre todas as partes envolvidas ao longo do ciclo de vida.

Tendo em conta os desafios ao nível dos PDTs da ferrovia, particularmente no contexto nacional, qualquer iniciativa relacionada com a digitalização deverá de forma consistente abordar estas problemáticas. É precisamente por isso que o presente artigo aborda os PDTs para a ferrovia, em virtude das inerências ao projeto RoboShot@FRC, que tem como objetivo aprimorar e modernizar a construção e reabilitação de túneis ferroviários usando cabeças de projeção avançadas de Betão Reforçado com Fibras (FRC) montadas em braços robóticos. Um dos principais desafios dentro do projeto é o manuseio e integração de diversas fontes de dados, dada a natureza dinâmica dessa área.

Para atender a essa necessidade, este artigo centra-se no desenvolvimento e implementação de PDTs para aprimorar a consistência, precisão e confiabilidade na gestão de informações cruciais para a construção e reabilitação de túneis. Serão, neste contexto, propostos PDTs especializados para elementos ferroviários, nomeadamente: balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, betão projetado com fibras, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento. Esses modelos serão desenvolvidos seguindo as últimas normas e iniciativas, proporcionando uma abordagem estruturada para organizar, trocar e gerir informações relacionadas à construção ferroviária. Estes PDTs normalizarão os dados para os elementos modelados, facilitando a interoperabilidade entre as partes interessadas. Além disso, ajudarão as partes interessadas a compreender claramente as necessidades de dados durante o troca de informações. As seções seguintes delineiam a metodologia empregada para a criação dos PDTs e culminam na apresentação de modelos de dados de produtos.

2. Modelos de dados de produto para infraestrutura ferroviária

O artigo publicado por Sibaii et al. [18] apresentou uma metodologia padronizada para a criação de modelos de dados de produtos, que foi utilizada neste artigo para a criação de PDTs relacionados ao transporte ferroviário. O artigo mencionado também fornece uma visão profunda sobre a definição de PDTs, iniciativas existentes relacionadas a PDTs e uma visão dos padrões relacionados a PDTs.

Seguindo o método de criação de PDT, o primeiro passo na criação de um PDT é a recolha de parâmetros. Os parâmetros podem ser recolhidos de várias fontes e, portanto, devem ser comparados entre si numa única matriz para garantir que os parâmetros sejam únicos. Os parâmetros em diferentes fontes podem ter nomenclaturas diferentes, mas o mesmo significado. Consequentemente, a etapa de comparação e normalização elimina a redundância e repetição. Uma vez decidida uma lista final de parâmetros, esta é organizada em categorias, como dados geométricos, dados de desempenho, dados de sustentabilidade, etc. Pode consultar-se um exemplo dessa matriz em Sibaii et al. [18].

As propostas de PDTs deste artigo incluem uma parte do Modelo de Dados Principal comum a todos os produtos de construção, que está disponível na plataforma mencionada [19]. Esta parte do PDT inclui as seguintes categorias de dados: geral; classificação; geométrico; fabricante; e dados de sustentabilidade com base na EN ISO 22057:2022 [20]. Assim sendo, para os PDTs aqui propostos, a análise será centrada nas partes específicas a cada PDTs criado (balastro, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento).

Na Tabela 1, são apresentadas as fontes de dados utilizadas na criação dos PDTs listados. Como observado, as fontes de informação mais relevantes são as normas EN que regem os requisitos para elementos de construção na construção. É uma fonte válida de dados, mas combinada com outras fontes de dados relevantes, podem ser recolhidas outras propriedades importantes para melhorar a qualidade dos PDTs e garantir que contenham informações relevantes para diferentes intervenientes que utilizam o PDT, como conjuntos de propriedades IFC, entrevista com especialistas e fichas técnicas de fabricantes.

Neste trabalho, as entrevistas com especialistas foram realizadas com técnicos da Infraestruturas de Portugal, que estão habituados a trabalhar com este tipo de elementos no seu quotidiano e conhecem bem as suas terminologias e a utilidade dos seus dados.

Tabela 1: Fontes de dados para PDTs mostrando os números de propriedades em cada fonte

PDT	Fonte de Dados				
	Normas EN	Conjuntos de propriedades IFC	Entrevista c/ Especialistas	Fichas Técnicas	Outros PDTs
Balastro	16		2		
Carril	27*	9	9*		
Travessa de betão	31*	12	4		31*
Sistema de Fixação			8*	8*	
Camada de sustimento	13				81
Betão Projetado com fibras	33				
Anomalias			8		

* Propriedades vêm de duas fontes combinadas

A coleta de parâmetros para o PDT de elementos ferroviários não foi uma tarefa simples, pois os recursos são escassos e poucas fontes contêm informações sobre elementos ferroviários, pois não se trata de um produto de construção comum como: portas, vigas, entre outros. As fontes NBS, Natspec Property Generator e ETIM não permitiram obtenção de informação específica para túneis/ferrovia. Consequentemente, foi necessária uma pesquisa mais profunda para encontrar recursos para esses elementos. Uma fonte significativa que foi explorada é o esquema IFC 4.3, previsto para ser publicado pela ISO em 2024, disponível na plataforma buildingSMART [21]. Nesta versão foi desenvolvido o domínio “IFC Rail” e foi possível encontrar propriedades para os elementos Carril e Travessa de betão nos conjuntos de propriedades Pset_TrackElementTypeSleeper, Pset_TrackElementOccurrenceSleeper e Pset_RailTypeRail.

Além disso, foram consideradas várias normas para a coleta de dados. Por exemplo: foi considerada a EN13674-1 para o elemento Carril, a EN 1996-1-1:2005 para a parte de alvenaria da camada do sustimento e a EN 206 para a parte de betão, e a BS EN 14487-2:2006 para o elemento Betão Projetado com fibras. Também foram considerados documentos técnicos para alguns modelos de dados como as “Especificações Técnicas Para Fornecimento De Balastro Novo” das Infraestruturas de Portugal para o elemento balastro, e documentos técnicos de produtores de sistemas de fixação ferroviária para o modelo de dados do sistema de fixação [22].

De seguida foram analisados os PDTs já disponíveis na base de dados da plataforma PDTs.pt. Por exemplo, para o PDT da camada do sustimento, o PDT foi criado para acomodar propriedades relacionadas a ‘rocha’, ‘betão’ e ‘alvenaria’ dependendo do material da construção. As propriedades relacionadas com as rochas foram derivadas do PDT já existente para sondagens geotécnicas [23], e as propriedades relacionadas com a alvenaria foram derivadas do PDT para ‘tijolo’ (ambos já disponíveis na plataforma pdts.pt). Em relação às propriedades do betão, foi analisado o modelo de dados de betão pré-fabricado [24], e foram encontradas propriedades relevantes relacionadas com betão e o reforço/armadura, nomeadamente através das seguintes normas: EN 15037-1:2008, EN 13225:2013, EN 13369:2013, e EN 1520:2011.

Após a coleta de todas as propriedades, os dados passaram por um processo de normalização, onde as propriedades com o mesmo significado são colocadas em uma única linha de uma folha de cálculo numa matriz de propriedades e as suas nomenclaturas são comparadas (ver Tabela 2). É então selecionado um nome único para representar cada propriedade nos PDTs. A seleção do nome e do seu formato segue as diretrizes estabelecidas pelas regras para modelação de objetos BIM, criadas no âmbito da atividade da CT197 [25].

A Tabela 2 mostra a seção da matriz relacionada à seleção de propriedades, múltiplas propriedades podem ser adicionadas à matriz de qualquer fonte, mas avançando e com base na opinião de especialistas, apenas as propriedades relevantes serão selecionadas (verde) e as demais serão descartadas (vermelho). Neste exemplo, o especialista descartou a propriedade "Rail Length" e "Description", uma vez que ambas podem ser referenciadas a propriedades no modelo de dados principal, mencionado anteriormente, sob os nomes "NominalLength" e "Description". Depois de selecionada uma lista final de propriedades, as mesmas foram traduzidas para a língua portuguesa, uma vez que estes modelos de dados estão a ser criados para o contexto português.

Uma vez finalizada a lista de propriedades, estas foram organizadas conforme o formato sugerido na EN ISO 23387. Para cada propriedade no modelo de dados, foram definidos o nome da propriedade, o grupo, a unidade, a quantidade, os valores do tipo enumerado e o documento de referência (ver Tabela 3). Em seguida, a EN ISO 23386 fornece um conjunto predefinido de atributos para propriedades e grupos de propriedades, e esses atributos devem estar ligados às propriedades no PDT criado. Esta etapa garantirá que as propriedades num modelo de dados sejam rastreáveis no caso de ocorrer alguma alteração na propriedade, como uma alteração de nome ou descrição, ou uma alteração no método de obtenção.

Tabela 2: Parte da matriz das propriedades do carril

EN13674-1	IFC	Entrevista c/ Especialistas	Propriedade (Inglês)	Propriedade (Português)
	PositionInTrack		PositionInTrack	PosicaoNaVia
	TechnicalStandard		TechnicalStandard	PadraoTecnico
	RailDeliveryState		RailDeliveryState	EstadoDeEntregaDe-Carril
	RailCondition		RailCondition	CondicaoDoCarril
		Rail Length Description	Rail Length Description	- -
hydrogen content		Levels of hydrogen	HydrogenContent	ConteudoHidrogenio
Total oxygen		Levels of oxygen	TotalOxygen	OxigenioTotal
Decarburisation		Decarburiza- tion	Decarburisation	Descarburacao
Hardness (HBW)		Hardness	Hardness	Dureza
Tensile strength		Tensile resistance	TensileStrength	ForcaDeTracao
Section modulus – Head			SectionModulusHead	ModuloSeccaoCabeca
Section modulus – Base			SectionModulusBase	ModuloSeccaoBase
Moment of inertia y-y axis			MomentOfIner- tiaYYAxis	MomentoDeInerciaEi- xoYY
Section modulus y-y axis			SectionModu- lusYYAxis	ModuloSeccaoEixoYY

Finalmente, para abrir uma porta de comunicação com outros especialistas na indústria e receber feedback sobre os modelos de dados, e efetuar as alterações necessárias no futuro, conforme as recomendações da EN 23386, os PDTs foram adicionados à base de dados da plataforma PDTs.pt (ver Figura 1).

Tabela 3. Estrutura (parcial) do Modelo de Dados de Produto para o Carril conforme a EN ISO 23387

Propriedade	Unidade	Descrição	Documento de referência
Dados geométricos			
ModuloSeccaoCabeca	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão.	EN 13674-1:2003
ModuloSeccaoBase	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão.	EN 13674-1:2003
MomentoDeInerciaEixoYY	cm ⁴	Propriedade física de um objeto que descreve a sua resistência à rotação em torno do eixo dos y-y.	EN 13674-1:2003
ModuloSeccaoEixoYY	cm ³	O módulo de secção é uma propriedade geométrica de uma secção transversal que mede a sua resistência à flexão em torno do eixo dos y-y.	EN 13674-1:2003
(...)	(...)	(...)	(...)
Dados de especificação			
Dureza	Sem unidade	Gamas de dureza dos tipos de aço (Exemplo: 260 a 300).	EN 13674-1:2003
ForcaDeTracao	MPa	A resistência à tração refere-se à quantidade máxima de tensão de tração que um material pode suportar sem se partir ou sofrer uma deformação permanente.	EN 13674-1:2003
PosicaoNaVia	Sem unidade	Indica a posição relativa do elemento na via, que fica à esquerda ou à direita ao olhar na direção dos valores crescentes de estação.	-
PadraoTecnico	Sem unidade	O padrão técnico que o elemento deve cumprir.	-
(...)	(...)	(...)	(...)
Dados químicos			
Nitrogenio	%	Percentagem de massa de nitrogénio na composição química do carril.	EN 13674-1:2003
ConteudoHidrogenio	10 ⁻⁴ % ppm	Conteúdo de hidrogénio.	EN 13674-1:2003
OxigenioTotal	10 ⁻⁴ % ppm	Conteúdo total de oxigénio.	EN 13674-1:2003
Descarburacao	mm	Não deve ser observada nenhuma rede fechada de ferrite abaixo de 0,5 mm de profundidade, medida em qualquer ponto da superfície da cabeça do carril.	EN 13674-1:2003
(...)	(...)	(...)	(...)

PDTs.pt [Home](#) [PDTs](#) [Documentação API](#) [Participantes](#) [Contactos](#)

Os Modelos de Dados dos Produtos

Imagem	Nome	Versão	Data		
	Balastro	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Carril	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Sistema de fixação	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Travessa Monobloco Betao	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO
	Camada de sustimento	V1.1.1 Activa	2023-11-01	VER	REVISÃO

Figura 1
Análise dos resultados obtidos nas três etapas.

3. Conclusão

A normalização dos dados dos componentes da infraestrutura ferroviária é crucial para a melhoria dos processos BIM neste domínio. Este trabalho apresentou um método normalizado para digitalizar dados relacionados aos principais componentes da infraestrutura ferroviária usando PDTs. Foram desenvolvidos Modelos de Dados de Produto para balastro, betão projetado reforçado com fibras, travessa de betão, carris, sistema de fixação de carris, camada de sustimento e anomalias na camada de sustimento.

O processo de coleta de dados para esses elementos construtivos levantou vários desafios dentre eles a escassez de recursos para coleta de dados. O desafio foi superado por meio de normas relacionadas, fichas técnicas do fabricante, PDTs relacionados e entrevistas com especialistas. Em seguida, o processo de normalização foi realizado e as propriedades relativas foram selecionadas para os modelos de dados. Além disso, os PDTs foram criados de forma a cumprir as mais recentes normas relacionadas com PDTs, ISO EN 23386 e ISO EN 23387.

Finalmente, a consulta a mais profissionais da indústria para melhorar o modelo de dados será possível por meio da plataforma de consulta PDTs.pt. Este será um passo fundamental para legitimar as propostas e melhorá-las, rumo a versões das mesmas que tenham condições para aceitação geral pela indústria especializada, e portanto assegurar a sua implementação prática com vantagens para todos.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do acordo de concessão MPP2030-FCT-2022 atribuído ao primeiro autor. É também 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; e ainda por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 DOI 10.54499/UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções; pelo projeto de inovação e desenvolvimento (I&D) RoboShot@FRC – Robotized system for the shotcrete of optimized fibre reinforced concrete in railway tunnels com referência POCI-01-0247-FEDER-047075. É ainda parcialmente financiado pelo PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e União Europeia – www.recuperarportugal.gov.pt (PRR – Investimento RE-C05-i02: Missão Interface – CoLAB). O apoio financeiro do projeto REV@Construction também é reconhecido.

Referências

- [1] A. Sharafat, M. S. Khan, K. Latif, & J. Seo, BIM-Based Tunnel Information Modeling Framework for Visualization, Management, and Simulation of Drill-and-Blast Tunneling Projects. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35 (2020) 04020068. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000955](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000955).
- [2] G. Wang & Z. Zhang, BIM implementation in handover management for underground rail transit project: A case study approach. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108 (2021) 103684. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103684>.
- [3] A. Pavan, C. Mirarchi, G. Amosso, L. M. Nesa, D. Pasini, B. Daniotti, & S. L. Spagnolo, BIMReL: A new BIM object library using Construction Product Regulation attributes (CPR 350/11; ZA annex). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012052>.
- [4] M. Cassano & M. L. Trani, LOD Standardization for Construction Site Elements. *Procedia Engineering*, 196 (2017) 1057-1064. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.062>.
- [5] J. C. P. Cheng, W. Chen, K. Chen, & Q. Wang, Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. *Automation in Construction*, 112 (2020) 103087. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103087>.

- [6] L.Joblot,T.Paviot,D.Deneux,& S.Lamouri,Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. *IFAC-Papers On-Line*, 50 (2017) 10518–10525. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1298>.
- [7] H. Kim, Z. Shen, H. Moon, K. Ju, & W. Choi, Developing a 3D intelligent object model for the application of construction planning/simulation in a highway project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (2016) 538-548. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0463-4>.
- [8] NBS, NBS BIM Object Standard. (2019).
- [9] S. Palos, A. Kiviniemi, & J. Kuusisto, Future perspectives on product data management in building information modeling. *Construction Innovation*, 14 (2014) 52-68. <https://doi.org/10.1108/CI-12-2011-0080>.
- [10] EN ISO 23386, EN ISO 23386:2020 – Building information modelling and other digital processes used in construction – Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries. (2020). <https://www.iso.org/standard/75401.html> (accessed March 15, 2021).
- [11] EN ISO 23387, EN ISO 23387:2020 - Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles. (2020). <https://www.iso.org/standard/75403.html> (accessed March 15, 2021).
- [12] EN 17412-1, Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles. (2020).
- [13] B. Succar & E. Poirier, Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets. *Automation in Construction*, 112 (2020) 103090. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103090>.
- [14] R. Kebede, A. Moscati, & P. Johansson, Semantic web for information exchange between the building and manufacturing industries: a literature review. (2020) 248-265.
- [15] M. Hooper, *BIM Anatomy II: Standardization needs & support systems* (2015).
- [16] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, & J. Kiegeland, a Platform-Independent Product Library for Bim. *30th CIB W78 International Conference*, (2013) 389-399.
- [17] M. Pedro, D. Calvetti, E. Hjelseth, & S. Hipólito, Incremental Digital Twin Conceptualisations Targeting Data-Driven Circular Construction. *Buildings*, 11(11) (2021) 554. <https://doi.org/10.3390/buildings11110554>.

- [18] M. El Sibaii, J. Granja, R. R. Ribeiro, P. Meda, R. Resende, J. dos Santos, P. L. Martins, A. A. Costa, J. P. Martins, & M. Azenha, Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197. *4.º congresso português de 'Building Information Modelling' vol. 2 – ptBIM*, (2022) 245-256. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.21>.
- [19] PDTs.pt, PDTs. (2021). <https://pdt.pt/> (accessed November 9, 2022).
- [20] EN ISO 22057, EN ISO 22057 - Sustainability in buildings and civil engineering works – Data templates for the use of EPDs for construction products in BIM. (2022).
- [21] buildingSMART, IFC Schema Specifications – buildingSMART Technical. (2020). <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (accessed May 7, 2021).
- [22] Vossloh, Vossloh Home | Vossloh AG. (n.d.). <https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/products-at-a-glance/schienenbefestigungssysteme/> (accessed December 27, 2023).
- [23] M. El Sibaii, J. Granja, L. Bidarra, & M. Azenha, Towards Efficient Bim Use of Geotechnical Data From Geotechnical Investigations. *Journal of Information Technology in Construction*, 27 (2022) 393–415. doi: 10.36680/j.itcon.2022.019.
- [24] M. El Sibaii, R. Rocha Ribeiro, R. Dias, J. R. Pinto, J. Granja, & M. Azenha, Towards Standardization of Data for Structural Concrete: Product Data Templates. In A. Jędrzejewska, F. Kanavaris, M. Azenha, F. Benboudjema, & D. Schlicke, eds., *Synercrete'23 - Int. RILEM Conf. Synerg. Expert. Towar. Sustain. Robustness Cem. Mater. Concr. Struct.* (Cham: Springer Nature Switzerland, 2023), pp. 263-275.
- [25] SECCLasS, Regras de modelação de objetos BIM | SECCLasS. (2021). <https://sec-class.pt/relatorios/regras-de-modelacao-de-objetos-bim/> (accessed December 29, 2021).

Porquê considerar um serviço de dimensionamento integrado? O nosso percurso para uma integração total de soluções de projeto digital

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.10>

**Alexandra Calheiros¹,
Carlos Corbi², Lubos Michalik³**

¹ *Hilti Portugal, Portugal*

² *Hilti France, Paris*

³ *Hilti Nederland B.V., Rotterdam*

Resumo

Na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), o aparecimento e a rápida adoção das soluções digitais representam uma mudança transformadora que tem profundas implicações na forma como os projetos são concebidos, projetados, executados e geridos. O BIM está na vanguarda desta revolução digital, é uma representação digital abrangente das características físicas e funcionais de um edifício. O BIM permite que arquitetos, engenheiros e empreiteiros colaborem sem problemas, reduzindo os erros, melhorando a eficiência e melhorando a comunicação ao longo do ciclo de vida do projeto.

O Serviço de Dimensionamento Integrado desenvolvido pela Hilti com foco nos suportes de instalações MEP, surge para combinar a metodologia BIM & *Plant Design* com Gestão de Projetos através de Soluções Digitais reunindo as várias especialidades e partes interessadas para trabalharem de forma coesa num projeto desde o seu início até à conclusão. Esta integração, encoraja uma abordagem holística à resolução de problemas, envolvendo especialistas de várias disciplinas, assegurando que todos os aspetos de um projeto são considerados, conduzindo a soluções mais específicas, abrangentes e inovadoras. Adicionalmente, aproveita as vantagens de ter cada parte interessada a trabalhar no seu próprio nível de especialização.

Este documento explora os benefícios reais de uma integração total de soluções de projeto digital de suportes MEP através do Serviço de Dimensionamento Integrado, especialmente em projetos complexos de grande dimensão. Os casos apresentados neste artigo evidenciam como a integração digital apoia ativamente uma colaboração total entre todas as partes envolvidas, permite uma otimização do dimensionamento através da realização de um dimensionamento específica e não apenas de um dimensionamento geral do projeto, assegurando que as soluções satisfazem as necessidades reais do projeto na fase de execução. Como o fluxo de trabalho é totalmente integrado, todas as soluções de dimensionamento são enviadas para a fase de modelação, assegurando que nenhuma informação é perdida durante o processo. Esta integração entre a conceção específica e a modelação executada pelo fornecedor é um ponto estratégico fundamental para o sucesso do projeto, assegurando que todos os materiais necessários são incluídos no projeto, proporcionando precisão e uma ligação real entre a fase de conceção e a fase de modelação. Além disso, apoiará a logística através de uma lista de materiais precisa, de modo que a disponibilidade de stock e a pré-fabricação possam ser geridas antecipadamente, com menos surpresas durante a fase de execução.

Em conclusão, o serviço de dimensionamento integrado é essencial para alcançar resultados de projeto bem-sucedidos, eficientes e sustentáveis, especialmente quando as soluções de engenharia e a modelação são executadas pela mesma entidade.

1. Dimensionamento integrado promovendo a colaboração em grandes projectos

O objetivo da Hilti é tornar a construção melhor, trabalhando de forma mais simples, rápida e segura, com produtos, sistemas, software e serviços que proporcionam um claro valor acrescentado. Esta mentalidade leva a empresa a investir cerca de 6% das vendas anuais em investigação e desenvolvimento [1].

A investigação levada a cabo pela McKinsey mostra que 98% dos megaprojectos sofrem derrapagens de custos superiores a 30% e 77% têm um atraso de pelo menos 40%. Muitos fatores podem justificar a fraca produtividade observada na indústria da construção, incluindo alguns dos seguintes [1]:

- Má organização
- Comunicação inadequada
- Gestão do desempenho deficiente
- Planeamento insuficiente

Para além dos pontos acima mencionados, a engenharia no local é também um fator que diminui significativamente a produtividade na indústria. O Serviço de Dimensionamento Integrado é mais um passo no sentido do apoio total à produtividade do projeto através do BIM & *Plant Design* para uma experiência de projeto adequada e eficiente, desde a conceção à execução.

Cada projeto tem as suas próprias partes interessadas específicas, pelo que, para tornar a experiência com qualidade e escalável, é obrigatório fornecer uma orientação adequada sobre como todas as pessoas envolvidas podem trabalhar ativamente sem perderem o seu próprio sentido de função e responsabilidade durante o ciclo de vida do projeto. Assim, a “integração” tornou-se a palavra-chave para o futuro.

De acordo com o PMBOK, o ciclo de vida da gestão de um projeto consiste em 5 fases distintas, incluindo iniciação, planeamento, execução, monitorização e encerramento, que se combinam para transformar uma ideia de projeto num produto funcional [2]. Para a indústria da construção, é possível resumir que um projeto de construção tem, em geral, 4 fases, incluindo a pré-conceção, a conceção, a execução/construção e a manutenção.

Atualmente, o mercado está totalmente ciente dos Serviços de Engenharia Transacionais liderados por Engenheiros para apoiar a conceção durante o projeto. Estes Serviços Transacionais de Engenharia não são um Serviço Integrado, uma vez que se centram apenas na solução standard que cobre todas as necessidades técnicas do projeto, em vez de estudarem cada uma das soluções específicas que reduzem o custo e evitam soluções sobredimensionadas. Por outro lado, as Soluções Integradas de Projeto combinam soluções pontuais diferenciadas com a Oferta Totalmente Integrada. A Oferta Totalmente Integrada é um Serviço de Dimensionamento Integrado que compreende uma avaliação metódica das diferentes soluções de dimensionamento

individuais e específicas tendo por base os documentos contratuais de projeto com o âmbito, entregas e modo de trabalho claramente e previamente acordados.

- Serviço de dimensionamento integrado

O Serviço de Dimensionamento Integrado (SDI) é um serviço que deve ser desenvolvido idealmente desde a fase de pré-design, permitindo que a fase de construção seja alcançada com todos os suportes MEP dimensionados, modelados e prontos a serem instalados com segurança, produtividade e sustentabilidade. É composto por quatro fases apoiadas por uma equipa com conhecimentos profundos em termos de produtos (incluindo soluções de fixação e suporte MEP e soluções passivas de corta-fogo), engenharia (dimensionamento e modelação) e gestão de projects. O SDI começa com uma Análise Prévia para avaliar o projeto global no que diz respeito aos suportes MEP, incluindo uma estimativa do custo e do tempo de todo o esforço de dimensionamento. A Equipa Hilti trabalha numa lógica de otimização do projeto no interesse de uma conceção, modelação e adjudicação simples, instalação produtiva e processos de inspeção fiáveis [1]. O serviço inicia-se após a aprovação e aceitação da Análise Prévia. Em seguida, inicia-se a fase de dimensionamento, passando de um dimensionamento concetual para um dimensionamento específico, em que todas as necessidades terão uma solução específica com relatórios de engenharia e listas de materiais individuais. Cada solução individual irá gerar um *Input To Modeler* e todos os suportes MEP que foram projetados estão prontos para serem modelados e integrados no modelo. O SDI também suporta e promove um modelo sem conflitos com LOD400.

Como benefícios da SDI, identificámos seis principais ganhos de produtividade, a que chamamos "BIM Use-cases":

- Otimização do dimensionamento: com o estudo de diferentes soluções e a adoção de suportes multi-especialidade específicos;
- Pré-fabricação: possibilitada pelos desenhos de fábrica e modelos coordenados;
- Logística avançada: Coordenar a logística com a lista de materiais;
- Validação: melhor gestão da documentação e acompanhamento do estaleiro através do modelo BIM (não abordado neste artigo);
- BIM para o terreno;
- Field to BIM (não abordado neste artigo).

O SDI é um serviço assente na parceria, uma vez que o seu desenvolvimento necessita de um modelo MEP bem coordenado e desenvolvido por outra entidade parceira, com todos os pressupostos definidos e alinhados entre todas as partes. Este processo de colaboração permite otimizar as soluções, aumentar a eficiência e conduzir a um projeto mais inovador. Tem um impacto maior em projetos complexos e de grande dimensão, onde um processo imperfeito e ineficaz tem um grande impacto na calendarização e, conseqüentemente, no orçamento final, tal como descrito neste artigo.

2. Soluções de dimensionamento integradas com engenharia

O SDI Hilti foi implementado em todo o mundo como uma norma global, pelo que, independentemente da localização do projeto, o fluxo de trabalho interno mantém-se. Esta normalização global fez com que a Hilti fosse certificada com a ISO 19650, uma norma internacional que define os processos colaborativos para a gestão da informação ao longo de todo o ciclo de vida de um ativo construído utilizando a modelação da informação da construção (BIM).

O processo da Hilti em termos de SDI baseia-se num forte conhecimento de engenharia e na comunicação com o cliente para satisfazer o seu pedido, tendo em conta três conceitos básicos.

- Otimização de custos
- Tempo de instalação
- Coordenação MEP

2.1. Conceitos de engenharia do SDI

2.1.1. Conceitos de engenharia do SDI

Hilti é especialista em sistemas de suporte, proteção passiva contra incêndios e fixações. O conhecimento e a experiência dos engenheiros da equipa Hilti fornecem soluções otimizadas, reduzindo o custo dos materiais utilizados em cada uma das aplicações. Cada uma das diferentes soluções é apresentada ao cliente, para que este discuta o processo de instalação que irá seguir. Isto faz com que a Hilti não seja apenas um fornecedor, mas também um parceiro com o serviço personalizado que presta.

As soluções multi-especialidade podem ser aplicadas, otimizando o espaço, o tempo e o custo do material necessário para cada um dos sistemas MEP, caso fosse feito individualmente. Através da experiência em vários projetos, ficou claro que a otimização das soluções tem impacto no tempo de instalação e no custo do material que pode ser reduzido até 30%, reduzindo também a quantidade de desperdício e aproveitando até 95% do material.

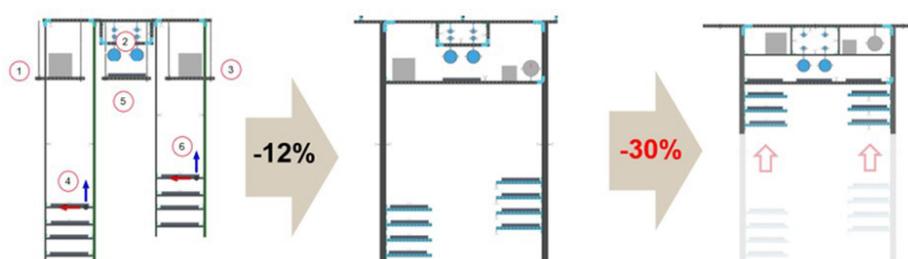


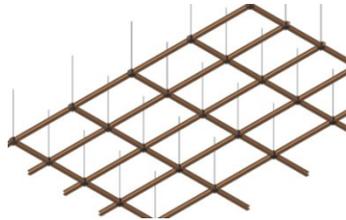
Figura 1
Otimização de custos impulsionada por uma abordagem colaborativa através do SDI.

2.1.2. Tempo de instalação

O custo da mão de obra tem aumentado nos últimos anos, a par com uma diminuição do conhecimento e da experiência no sector da construção, sendo esta a principal razão pela qual devemos reduzir ao máximo o tempo de execução de um projeto. O SDI ajuda os subempreiteiros MEP a evitar erros no local de obra e a prevenir problemas com antecedência, uma vez que estes são resolvidos numa fase inicial de projeto durante a definição de soluções.

Numa fase inicial do projeto, são apresentadas ao dono da obra soluções flexíveis, tais como sub-estruturas, elementos embebidos (HAC-C) ou soluções multi-especialidade que diminuem o tempo de instalação e reduzem a quantidade de pontos de fixação ao material base existente.

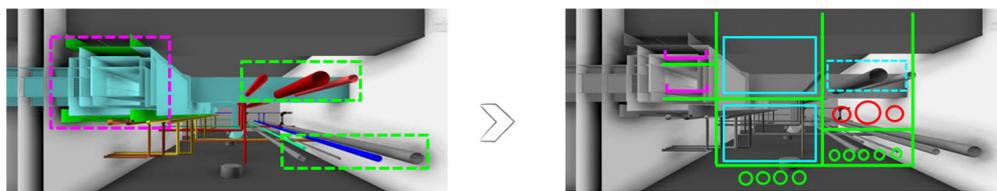
Figura 2
Soluções flexíveis avaliadas para melhorar o tempo de instalação.



2.1.3. Coordenação MEP

Como já foi referido anteriormente neste artigo, "quanto mais cedo melhor", a Hilti não se limita a criar suportes para modelos "congelados" disponibilizados pelos nossos parceiros que verificaram a deteção de conflitos entre as especialidades MEP e os elementos de arquitetura. O SDI desenvolvido pela Hilti funciona como um consultor uma vez que também verifica e aconselha sobre a viabilidade e os problemas da coordenação real e fornece soluções globais.

Figura 3
Reorganização da instalação MEP aconselhada pela Hilti para melhorar a organização MEP e otimizar a solução de suportagem.



Existe uma falta de conhecimento no mercado relativamente ao sistema de suporte e aos conceitos de engenharia que devem ser aplicados. Muitas vezes, a equipa de engenharia Hilti depara-se com situações em que não existe uma coordenação lógica em termos de conhecimentos de engenharia como por exemplo situações em que o material de base não foi concebido para suportar as cargas e/ou não existe espaço suficiente para colocar os suportes. São nestes casos que os engenheiros

Hilti da equipa SDI se tornam um parceiro valioso para dar a visão de engenharia de suportes às restantes equipas do projeto.

2.2. Processo de engenharia do SDI

O processo de engenharia da Hilti no SDI começa com um *input* do parceiro, o ficheiro do projeto com toda a informação necessária para a conceção do suporte. É nesta fase que se discute a coordenação para fazer modificações e apresentar desenhos conceptuais básicos para encontrar a solução otimizada para o parceiro.

Uma vez acordado o projeto concetual, o passo seguinte consiste em provar tecnicamente a viabilidade do projeto com o software de cálculo interno da Hilti e os dados técnicos dos diferentes itens a utilizar. A solução é transferida para outro engenheiro interno para um processo de QA/AC e discussão.

Esta solução é transferida para uma equipa interna de modelação da Hilti com conhecimentos específicos sobre o portfólio da Hilti. O desenho é modelado e implementado no projeto parceiro seguindo as instruções dadas pelo BLE (BIM Lead Engineer). Após a implementação, é efetuado outro QA/QC para verificar a viabilidade da solução da equipa de engenharia (BLE).

Após a conclusão do processo de QA/QC, é o momento de enviar o pacote de saída ao parceiro, que contém:

- LPU: lista de materiais com o número exato de produtos que vão ser utilizados no projeto ou área, esta informação é facilmente extraída do *Revit* devido à qualidade dos dados das famílias *Revit* desenvolvidas internamente pela Hilti.
- Desenhos de projeto: Um desenho específico para cada um dos suportes implementados na área, com dimensões detalhadas e uma lista dos materiais a utilizar.
- Plantas de desenho: Uma planta da zona com as distâncias exatas entre os suportes e a identificação de cada um. Esta informação é exportada diretamente do projeto *Revit*, pelo que tem precisão suficiente para localizar as soluções no local.

2.3. Desafios de engenharia e modelação sem SDI

Neste artigo, foi abordado o processo de SDI da Hilti para grandes projetos que fornece a certificação ISO 19650, mas há casos em que o SDI não é implementado na íntegra e a modelação não é feita pela Hilti. Uma das principais desvantagens quando a modelação é efetuada por outra entidade externa é o facto de a Hilti não ser responsável por esta etapa e, por conseguinte, o processo não seguir a norma.

Nos próximos capítulos, serão abordadas algumas das desvantagens de não se efetuar o pacote completo de SDI.

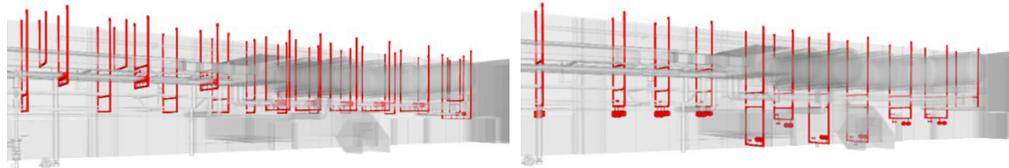
2.3.1. Otimização do dimensionamento

Num projeto sem SDI, o processo de validação das soluções técnicas (designadas por tipologias) consiste em efetuar o dimensionamento do pior caso encontrado e, em seguida, identificar a área onde a tipologia será implementada. Esta situação também acontece quando a execução do modelo de suportes é executada por uma entidade externa, uma vez que a mesma não tem conhecimento sobre as limitações de engenharia dos suportes, impossibilitando o controlo (QA/QC) dos desenhos que são implementados no projeto, e por isso, em algumas áreas onde a solução pode ser otimizada para reduzir o custo, isso não é feito nem detetado pela entidade externa. Isto pode resultar num custo adicional para o material e em soluções não otimizadas.

Uma empresa sem conhecimento do portfólio e sem conhecimentos sobre as limitações de engenharia irá sobrecarregar o modelo com suportes, o que levará a um desperdício de material e a um projeto não produtivo em termos de tempo e de custos. No caso do projeto abaixo, é possível ver no cenário a) um corredor com excesso de suportes, modelados por uma entidade externa. E no cenário b) é o mesmo corredor desenvolvido por um SDI completo com a Hilti onde apenas foram implementados os suportes necessários.

Figura 4

Caso de projeto:
Otimização do
dimensionamento
apenas possível através
do SDI.



Cenário a) sem abordagem SDI

- Número de suportes: 1.223 unidades
- Número de ancoragens: 4.892 unidades

Cenário b) com abordagem SDI

- Número de suportes: 408 unidades (-77%)
- Número de ancoragens: 1.632 unidades (-67%)

A utilização do SDI permite uma integração total entre o dimensionamento específico e a modelação, o que conduz a uma diminuição de 77% do número de suportes em obra, o que tem um impacto significativo durante a fase de execução e, consequentemente, no orçamento final do projeto.

2.3.2. Precisão e detalhe da modelação

O nível de detalhe e precisão do projeto permite à Hilti através do SDI definir até ao milímetro os cortes dos perfis/calhas, do varão roscado e as alturas dos suportes. Normalmente, a Hilti fornece um LOD 400 com todos os pormenores, adicionando ao modelo todo o material necessário.

Este nível de pormenor nem sempre é fornecido por entidades externas que executem apenas a modelação, uma vez que como não fornecem os produtos e não têm todo o conhecimento técnico de engenharia e montagem, não possuem o conhecimento necessário destas aplicações e de todas informações necessárias para a definição e montagem do suporte. Sem este nível de detalhe de modelação e a

informação que fornece, o projeto não terá uma lista de materiais completa e precisa, tornando impossível acompanhar e analisar o estado do projeto em termos de orçamento e também fornecer todos os materiais necessários no estaleiro, criando um problema logístico com impacto que pode comprometer o planeamento da construção, uma vez que os suportes são a primeira especialidade a iniciar a obra.

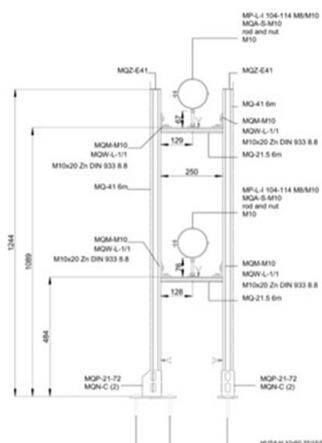


Figura 5
Nível de detalhe fundamental para garantir a precisão e detalhe dos desenhos de projeto na fase de execução.

2.3.3. Informações no modelo para fornecer o resultado correto para o BIM to Field

O projeto Hilti SDI executado em *Revit* fornece toda a informação para a lista de materiais, que pode ser facilmente dividida por áreas, se necessário (dependendo do planeamento do projeto). Isto permite que o parceiro tenha uma melhor compreensão do projeto e das soluções aplicadas. Se for um terceiro a executar a modelação, como já mencionado, podem faltar muitas informações durante o processo, por exemplo, os diferentes comprimentos dos perfis/calhas, os varões roscados ou as quantidades de peças necessárias para efetuar uma ligação específica entre os elementos do suporte.

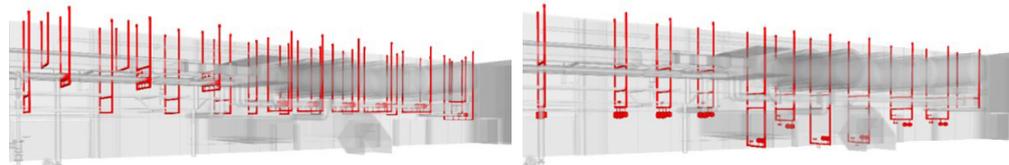
Este tipo de informação, que pode ser verificada no interior das nossas famílias, foi desenvolvido com uma equipa de engenharia para fornecer as ferramentas necessárias para acompanhar e implementar as soluções. Além disso, permite uns entregáveis metuculosos e exatos para a obra, uma vez que são desenvolvidos por uma equipa com os conhecimentos adequados no que diz respeito, por exemplo, ao corte do perfil/calha, garantindo que, durante a montagem do suporte, o espaço livre para colocar as abraçadeiras de tubos e os outros elementos será feito de acordo com o modelo, evitando erros na obra.

3. Execução do projeto apoiada pelo SDI

Durante a execução do projeto, todas as vantagens das soluções de dimensionamento integrada são visíveis. Como já foi referido, no SDI teremos uma solução

específica por necessidade e tipologia MEP em vez de termos uma solução conceitual para toda a instalação MEP. Este fluxo de trabalho aumentará a transparência das soluções e o principal objetivo é otimizar as soluções tanto quanto possível. Esta otimização é garantida pelo estudo de diferentes soluções (soluções específicas) e pela adoção de suportes multi-especialidade, implementando apenas o número de suportes necessários. O facto de não estarmos a trabalhar com soluções conceituais utilizando o pior cenário possível tem um grande impacto na quantidade de material fornecido que pode ser facilmente traduzido no orçamento final. A conceção específica também terá um impacto na produtividade da obra durante a instalação, uma vez que as soluções são concebidas para serem mais sustentáveis, utilizando a quantidade de material mais otimizada possível.

Após o dimensionamento específico, procedemos à modelação e, em seguida, à execução do entregáveis adequados para enviar a informação para o local da obra. Este processo de trabalho do serviço permite-nos ter um conhecimento completo do projeto, antecipar as necessidades e acompanhar de forma consistente o ritmo de execução da obra em termos de logística. Abaixo é possível ver mais informações sobre a execução do projeto (tempo de instalação e área disponível para otimização da manutenção) utilizando SDI.



Cenário a) sem abordagem SDI

- Número de suportes: 1.223 unidades
- Número de ancoragens: 4.892 unidades
- Tempo de instalação: 244,60 horas
- Área reservada para manutenção: 1.541 m³

Cenário b) com abordagem SDI

- Número de suportes: 408 unidades (-77%)
- Número de ancoragens: 1.632 unidades (-67%)
- Tempo de instalação: 65 horas (-74%)
- Área reservada para manutenção: 777 m³ (-50%)

Figura 6

Caso de projeto:
Otimização da execução apenas possível através de SDI.



A utilização do SDI permite uma integração total entre o projeto específico e a modelação, o que conduz a uma redução de custos de 40% e a uma transparência total da lista de materiais necessários. Só com o SDI é possível controlar a otimização dos custos do projeto, uma vez que todas as soluções são estudadas, otimizadas e disponibilizadas no modelo para acompanhamento e validação durante o projeto por todas as partes interessadas.

3.1. Pré-fabricação

Atualmente, os projetos demoram mais tempo do que o inicialmente previsto e é difícil encontrar mão de obra qualificada para a produção no local. A maioria dos elementos é cortada e montada no local de trabalho, o que pode levar aos seguintes problemas:

- Corte no local de trabalho envolve riscos de segurança
- Desafios para garantir o material certo nas quantidades certas
- Consumo de tempo e de espaço

Para enfrentar os desafios descritos, a pré-fabricação está a desempenhar um papel importante, especialmente nos grandes projetos. A pré-fabricação adota a padronização e a modularização como fatores-chave para a produtividade da execução do projeto e, como já mencionado, é um caso de uso fornecido pelo SDI. A pré-fabricação significa que os suportes dimensionados podem ser parciais ou totalmente montados numa fábrica em ambiente de produção e não no local da obra. Os casos de estudos Hilti demonstraram que o pré-fabrico pode aumentar a produtividade do local de trabalho até 70% em termos de poupança combinada de tempo e material. Além disso, o pré-fabrico promove uma maior segurança durante a instalação e as soluções de construção conforme projetadas [1]. A implementação de SDI em grandes projetos, adicionando o pré-fabrico, conduz a um maior impacto na produtividade e na poupança de custos. Desde a fase de projeto, os engenheiros (BLE) podem definir a solução específica com o conceito de modularização, essa solução estará pronta para a pré-fabricação e, em seguida, durante a fase de modelação, são consideradas todas as considerações para criar um entregável específico para as unidades de pré-fabricação. A pré-fabricação diminui a quantidade de erros de execução e aumenta a qualidade, sendo possível desenvolver nas soluções seguintes soluções que melhoraram claramente a produtividade do projeto:

- Pré-montagem: Suporta a montagem em ambiente de produção otimizada.
- Corte: Elementos com o comprimento exato pretendido
- Kitting: o material necessário, embalado na quantidade correcta

3.2. Logística avançada e disponibilidade de stock

Como mencionado neste artigo, a logística avançada é impulsionada pelo SDI. Um projeto bem-sucedido é avaliado por dois fatores principais: soluções otimizadas e material necessário entregue de acordo com o planeamento da construção. Por essa razão, é obrigatório acompanhar o planeamento da construção, certificando-se de que o material é entregue a tempo, sem comprometer o calendário de execução e sem entregar todo o material de uma só vez, ocupando espaço no estaleiro que muitas vezes é limitado. Por conseguinte, os gestores de projetos gastam muito tempo a manter a transparência sobre o progresso e as informações da cadeia de abastecimento. A informação em tempo real ao longo do processo da cadeia de abastecimento é um fator-chave de sucesso [1].

O Serviço de Dimensionamento Integrado Hilti através da execução de modelo em LOD400 possui todas as informações do projeto centralizadas e precisas, pelo que é possível extrair uma Lista de Materiais precisa por zonas, localizações e áreas de projeto, permitindo uma comunicação e colaboração com a equipa de Logística (Hilti), com total transparência relativamente a todo o material necessário numa localização específica do projeto, num prazo específico. O modelo BIM será a base das entregas estruturadas, garantindo a informação para:

- Planeamento de entregas sequenciais e agrupadas
- Entregas na hora certa
- Seguimento e rastreio em todas as etapas com etiquetas personalizadas

Figura 7

Plataforma piloto de Logística Avançada num projeto de controlo logístico com o modelo BIM Hilti LOD400.



4. Principais conclusões do nosso percurso através do SDI

O serviço de dimensionamento integrado é a chave para um projeto bem-sucedido, especialmente para projetos complexos e de grande dimensão. Neste tipo de projetos, uma falha e/ou um processo ineficaz tem um grande impacto no planeamento e, conseqüentemente, no orçamento final. Através da nossa experiência em vários projetos, ficou claro que a otimização das soluções tem impacto no tempo de instalação e no custo do material que pode ser reduzido até 30%, reduzindo também a quantidade de resíduos e aproveitando até 95% do material. O facto de o SDI não trabalhar com soluções conceptuais utilizando o pior cenário possível tem um grande impacto na quantidade de material fornecido. Uma vez que o SDI garante uma integração total entre o projeto específico e a modelação, conduz a uma poupança de custos de 40% e a uma transparência total da lista de materiais necessários. Só com o SDI é possível controlar a otimização dos custos do projeto, uma vez que todas as soluções são estudadas, otimizadas e disponibilizadas no modelo para acompanhamento e validação por todos os intervenientes durante o projeto.

Um projeto sem SDI em que a modelação é executada por uma terceira empresa sem conhecimentos de engenharia nem conteúdos do portfólio específico irá sobrecarregar o modelo, cometendo erros na implantação dos suportes em termos de quantidade e localização que conduzem a um impacto negativo no orçamento final, e no planeamento de construção devido à baixa qualidade dos entregáveis. O exposto, também irá gerar uma lista final de materiais não controlada, afetando a transparência das quantidades de materiais afetas ao projeto necessária para a gestão da disponibilidade de stock. A sustentabilidade do projeto será certamente

afetada de forma negativa sem a utilização total do SDI, uma vez que será utilizado mais material que o necessário para cumprir com o projeto.

Referências

- [1] 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.
- [2] PMBOK Guide (Project Management Body of Knowledge) by the Project Management Institute (PMI)
- [3] Hilti, Hilti BIM Services, accessed January 13, 2020, <https://www.hilti.group/content/hilti/CP/XX/en/services/engineering/BIM.html>.
- [4] ISO 19650-1: 2019, Organization and digitalization of information about buildings and civil Engineering works, including building information modeling (BIM).

Enriquecimento de IFC através de dados vinculados ao *blockchain*

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.11>

Tiago Ricotta¹, Miguel Azenha²

¹ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0009-0006-8188-6932*

² *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427*

Resumo

O BIM representa um avanço significativo na gestão de informações, impulsionado por regras e normas crescentes, como a ISO 19560, além de outras iniciativas, incluindo sistemas de classificação e dicionário de dados. Estas ferramentas aprimoram a gestão e rastreamento das informações de um empreendimento. Contudo, durante a fase de construção, o enriquecimento de informações apresenta desafios notáveis. Frequentemente, o controle do modelo é mantido pelo projetista, levando os empreiteiros gerais a desenvolverem novos modelos específicos para atender às contingências de fragmentação e necessidade de maior granularidade. Este processo, embora necessário, pode levar à falta de sincronicidade do modelo original devido à multiplicidade de subempreiteiros envolvidos, comprometendo os benefícios potenciais do BIM. Esta situação evidencia a falta de um método unificado para o enriquecimento do modelo para construção que, simultaneamente, assegure a verificação da autenticidade e integridade das informações. Este artigo propõe uma abordagem para registrar os dados recolhidos durante a fase de construção de um empreendimento, armazenando-os em um modelo de informações baseado em IFC conectado ao *blockchain*. Como resultado desta abordagem, é possível garantir a integridade e rastreabilidade dos dados recolhidos no estaleiro, abrindo-se novas possibilidades de uso destas informações durante o ciclo de vida do ativo construído.

1. Introdução

A indústria AEC, devido à sua natureza fragmentada, enfrenta um desafio em relação à produtividade, que acaba também se relacionando ao uso do *Building Information Modelling (BIM)*. Nesse cenário, a complexidade reside na definição e identificação dos tipos de informações que devem ser enriquecidos nos modelos para atender a objetivos diversos [1], entre eles, o acompanhamento da execução de uma obra. Isso exige uma coordenação eficiente para garantir a disponibilidade de dados relevantes em diferentes fases de maturidade da informação e para diferentes partes interessadas simultaneamente, isto porque projetos de construção são empreendimentos complexos, caracterizados por um estado contínuo de incerteza, atribuída à vasta quantidade de atores envolvidos, no qual, frequentemente, observa-se a necessidade de interação entre equipes distribuídas geograficamente [2].

Esta troca de dados pode compreender processos rotineiros, tecnologias e meios utilizados para gerar e partilhar informações de design e construção, tanto internamente na empresa contratada para a construção, quanto externamente entre empresas subcontratadas para executar os serviços. Além disso, o impulso para novos métodos de construção e avanços na produção digital têm tornado a troca de informações mais complexa e desafiadora [3]. A fragmentação, especificamente como uma questão de comunicação, pode se tornar um problema significativo se não for adequadamente abordada.

O nível de fragmentação na comunicação, aliado à característica da indústria da construção civil de manipulação intensa de dados de forma manual, pode acarretar diversos tipos de problemas. Estes incluem a falta de meios para lidar com dados heterogêneos oriundos de várias fontes [4], ambiguidade nas mensagens ou na comunicação, incerteza sobre com quem partilhar ou receber informações e a decisão sobre comunicar-se com o diretor do projeto a respeito das informações necessárias [5]. Uma comunicação eficaz é essencial para produzir um ambiente de trabalho mais compreensível e facilitar a interação entre as partes interessadas, garantindo assim a conclusão bem-sucedida do empreendimento [6].

Um exemplo que ilustra a necessidade de evolução na comunicação e padronização na partilha de dados na construção é o fato de que em muitos estaleiros, mesmo naqueles com um alto orçamento de construção, ainda existem subempreiteiros emitindo simples recibos de papel para os empreiteiros gerais realizarem o pagamento do trabalho realizado. Estes simples documentos informam o empreiteiro geral o serviço realizado e a quantia a ser paga ao subempreiteiro. Se o responsável pelo pagamento perder o recibo, o subempreiteiro não receberá o pagamento, desencadeando um processo complexo para obter a remuneração devida. Vale destacar que um recibo de trabalho executado não é o único tipo de dado que circula em um estaleiro, existem centenas de tipos de dados que podem ter múltiplas outras fontes com dados estruturados e não estruturados. Organizar todos esses conjuntos de informações e comunicar de maneira eficaz a adição, remoção e atualizações de cada tipo de dado durante uma fase de construção representa um desafio significativo.

Como uma maneira de melhorar a gestão de dados, a série de normas ISO 19650 foi desenvolvida com o propósito de abordar as várias fases de um ativo com o auxílio do *BIM*. Ela estabelece padrões para requisitos de informações que abrangem desde a organização até a troca de informações, incluindo a definição dos níveis necessários de informação. Além disso, a série normativa ISO 17412, sobre nível necessário de informação, preconiza a não disponibilização de dados em excesso, fornecendo informações apenas no nível solicitado, e promove o fluxo contínuo de informações por meio de um Ambiente Comum de Dados (*Common Data Environment - CDE*). Esse ambiente possibilita a construção do Modelo de Informação de Projeto (*Project Information Model - PIM*) e do Modelo de Informação do Ativo (*Asset Information Model - AIM*) ao longo de todo o ciclo de vida de um empreendimento. O *AIM* deve ser concebido como um modelo de informações federado capaz de incluir conteúdos fornecidos por diversas entidades fornecedoras de informações [7], principalmente entidades alocadas durante a fase de construção de um empreendimento, ou seja, a correta recolha e gestão de dados de construção é fundamental para a futura gestão do ativo construído.

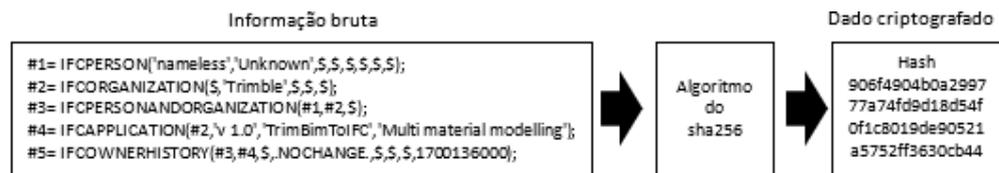
Neste contexto de gestão da recolha de dados que são produzidos no estaleiro, surge uma possível integração entre a indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), com sua natureza fragmentada, com tecnologias que já nasceram baseadas na fragmentação e que possuem um grande potencial de solucionar o problema de comunicação, esta tecnologia é o *blockchain*. O *blockchain* representa um tipo de Rede de Registos Distribuídos (*Distributed Ledger Technology - DLT*), caracterizada por operar como um banco de dados distribuído que mantém uma lista de registos de dados criptografados, protegidos contra adulterações e revisões [8]. Devido a essas características, o *blockchain* tem sido objeto de vários estudos e aplicações nas mais diversas indústrias, incluindo a indústria AEC. No âmbito da AEC, o *blockchain* oferece oportunidades significativas e pode abordar uma ampla gama de desafios como a melhoria da colaboração entre as partes interessadas em contratos, a gestão de gémeos digitais, a redução de erros e redundância de dados, a desintermediação, eficiência e aceleração de transações mais económicas para pagamentos e gestão de contratos, bem como aprimoramentos na segurança, rastreabilidade e auditoria de informações relacionadas à construção [9].

Para que a integração entre o *BIM* e a tecnologia *blockchain* seja bem sucedida, é imperativo estabelecer diretrizes e regras precisas para o registo de dados de construção em modelos, garantindo a devida identificação dos responsáveis pelas informações que estão sendo recolhidos. Este artigo propõe uma forma de registar os dados recolhidos no estaleiro, sejam dados estruturados ou não estruturados, utilizando o *Industry Foundation Classes (IFC)* conectados a uma rede *blockchain*, de maneira a formalizar a entrega de dados de forma íntegra, garantindo que não haja futuras modificações das informações entregues ao proprietário do ativo e garantindo a disponibilidade dos dados registados em qualquer fase e necessidade de uso posterior ao momento em que o dado original foi recolhido e registado no *IFC*.

2. Integração entre IFC e *Blockchain*

Blockchain é conhecido por sua segurança e proteção de dados, mas a privacidade pode ser um problema, uma vez que as informações, a depender da rede *blockchain*, são públicas. Apesar disso, somente os registos das transações são visíveis publicamente, e os dados propriamente ditos podem ser criptografados para manter seguras as informações sensíveis e pessoais. Muitas pesquisas sobre a combinação de *BIM* com *blockchain* utilizam técnicas de criptografia derivadas das redes *blockchain*, sendo a mais comum a função *sha256*. Essa técnica transforma uma mensagem em um código fixo chamado *hash* [9]. O processo garante que é praticamente impossível encontrar duas mensagens diferentes que resultem no mesmo *hash*. A Figura 1 mostra um exemplo prático do uso do *sha256*: um utilizador insere um texto simples, que vem a ser um recorte de um código de modelo baseado em *IFC*, e o algoritmo gera um código único baseado nesse texto, ou seja, podemos proteger o *IFC* contra alterações validando se o código original possui a mesma *hash* do código do arquivo consumido por qualquer parte interessada no futuro. Cada combinação de dados resulta em um código *hash* exclusivo.

Figura 1
Processo de funcionamento do algoritmo *sha256*.



Durante o processo de construção de um empreendimento em que o *BIM* seja utilizado, é comum haver a definição de um *CDE* para centralizar todas as informações que venha a ser partilhadas entre as diversas partes interessadas. Entretanto, as equipes de construção estão distribuídas geograficamente em um estaleiro e podem recolher diversos tipos de dados utilizando recursos e aplicativos diferentes dos definidos como o *CDE* inicialmente, tais como fotos, vídeos, mensagem de texto e voz por aplicativos de comunicação informais, formulários em papel, formulários e folhas de cálculo digitais, entre outros tipos de dados. Neste momento existem duas necessidades: 1) garantir que o dado remetido seja autêntico. 2) estruturar os dados de maneira a fazerem sentido aos futuros profissionais que irão consumi-los.

Para solucionar a primeira necessidade, utilizando-se de redes *DLT* é possível criar um *CDE* com *backend* distribuído no qual todos os dados de construção podem ser guardados no *DLT*. Baseado no *sha256* a rede irá gerar um Identificador de Conteúdo (*Content Identifier - CID*), que nada mais é do que uma *hash* baseado em *sha256* que funciona como um endereço para encontrar o arquivo guardado em uma rede *DLT* como o *Interplanetary File System (IPFS)*, a rede utilizada neste estudo. Este *CID*, se buscado de qualquer dispositivo com acesso a rede *IPFS*, irá encontrar o arquivo especificado. O *CID* gerado pelo *IPFS*, utilizando códigos em *Python*, pode ser guardado, no que foi estabelecido neste trabalho, como um livro de registo de transações, que é um contrato inteligente conectado ao *blockchain* e projetado para recolher as

trocas de dados entre empreiteiros gerais e subempreiteiros neste estudo, desta forma o projeto de *CDE* fragmentado consegue rastrear todos os dados de construção guardados no *IPFS*.

Para a segunda necessidade, o esquema de dados *IFC* apresenta uma variedade de classes existentes que podem ser utilizadas para a incorporação de informações das mais diversas fontes, desde que haja um mapeamento do tipo de dado que esteja sendo registado. A abordagem proposta neste artigo envolve principalmente três classes essenciais: *IfcPropertySet*, *IfcDocumentReference* e *IfcOwnerHistory*. As informações adquiridas durante o período de construção, passíveis de serem transformadas em atributos, podem ser adequadamente armazenadas seguindo a estrutura da classe *IfcPropertySet*, outras classes podem ser utilizadas a depender da semântica a ser adotada como dados de custos ou planejamento utilizando *IfcCostItem* ou *IfcTask*, por exemplo. Por outro lado, as informações que não são passíveis de conversão em atributos, como imagens e vídeos, podem ser gerenciadas de acordo com a lógica definida pela classe *IfcDocumentReference*. A identificação e registo dos responsáveis pela recolha das informações podem ser armazenados e rastreados por meio da utilização da lógica da classe *IfcOwnerHistory*. A combinação dessas três classes *IFC* proporciona a criação de uma abordagem de dados vinculados ao *blockchain* que aborda eficazmente o desafio de disponibilizar informações distintas para diversas partes interessadas, capitalizando-se na descentralização oferecida pela tecnologia *blockchain*. Isso resulta em uma solução que atende às necessidades dos envolvidos no registo de dados de construção, permitindo a partilha eficiente de informações simultaneamente ao enriquecimento do *IFC*.

3. Abordagem para enriquecimento de IFC

A estrutura de enriquecimento de *IFC* através de dados vinculados ao *blockchain* deve seguir algumas etapas, notadamente descritas através da figura 2:

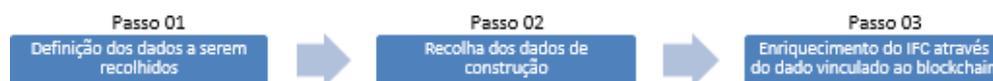


Figura 2
Etapas para enriquecimento de *IFC* com dados vinculados ao *blockchain*.

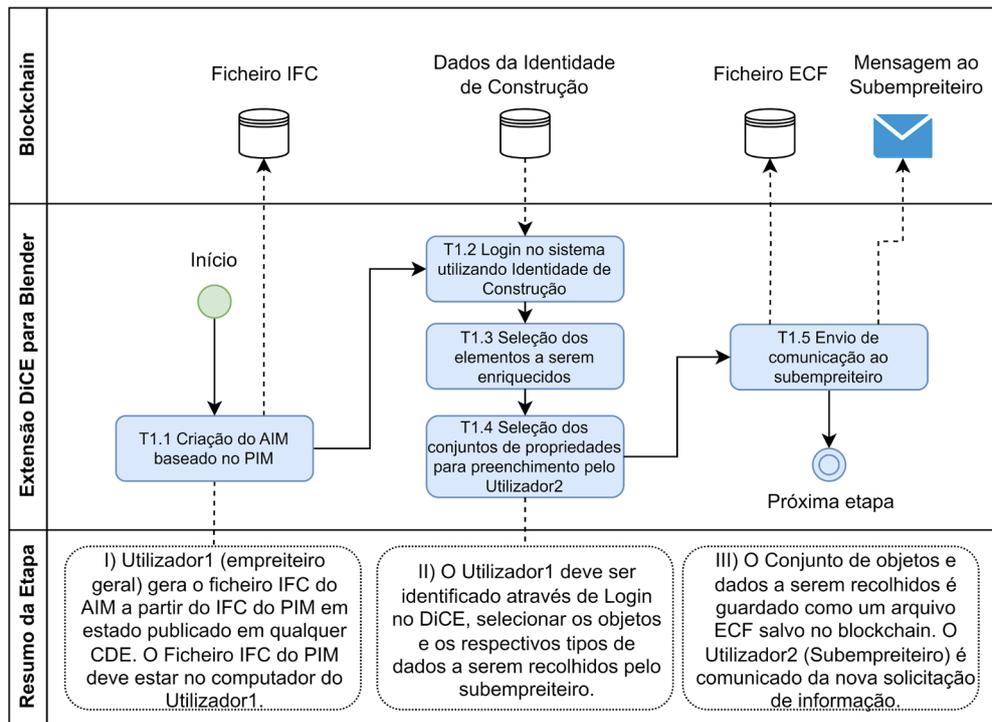
3.1. Definição dos dados a serem recolhidos

Para realizar a recolha de dados de construção utilizando a abordagem com *blockchain* é fundamental considerar dois importantes aspectos no processo: o primeiro aspecto é a seleção e a categorização apropriada dos tipos de dados a serem recolhidos e o segundo aspecto seria a identificação dos responsáveis por registar os dados.

A categorização dos dados deve separar os dados estruturados, que são informações passíveis de serem registadas como atributos no *IfcPropertySet* (ou outras classes *IFC* mais apropriadas a depender do tipo de dado), dos dados não estruturados, que atuam com vínculos no *blockchain* para serem visualizados no *IfcDocumentReference*,

como imagens ou vídeos. Para o registo dos responsáveis pela recolha dos dados, deve-se utilizar a Identidade Descentralizada (*DID*), que é essencial para interações com redes *blockchain*. Neste estudo, a identidade é conhecida como Identidade de Construção (*ConstructionID*). A Figura 3 ilustra o processo de definição dos dados a serem recolhidos, detalhando a aplicação destes princípios através de uma extensão chamada *DiCE* desenvolvida para o software *Blender*.

Figura 3
Etapas para a definição dos dados a serem recolhidos no estaleiro.



O software *Blender* é utilizado para visualização do *IFC* e a extensão *DiCE* possibilita a conexão do *IFC* diretamente com o *blockchain*. Neste estudo o processo é dividido entre dois utilizadores, o “Utilizador1” que faz o papel do empreiteiro geral e o “Utilizador2”, que faz o papel do subempreiteiro. Como descrito na Figura 3, a tarefa *T1.1* considera que o empreiteiro geral deve gerar o *AIM* baseado no *PIM* em estado publicado no *CDE* escolhido para a fase de projeto, isto pode ser feito importando os ficheiros *IFC* do *PIM* no *Blender* e guardando os ficheiros com um nome escolhido pelo empreiteiro geral direto no *blockchain*. Na tarefa *T1.2*, para realizar o *login* o Utilizador1 deve possuir uma Identidade de Construção, a geração da identidade pode ser realizada através da versão do *DiCE* para *desktop*. Para este estudo foram criadas duas Identidades de Construção, uma para o Utilizador1 e outra para o Utilizador2. Importa referir que o empreiteiro geral não está sujeito a custos de licenciamento para os utilizadores, estando assim habilitada a gerar um número ilimitado de Identidades de Construção para a gestão do sistema. Estas identidades podem ser reutilizadas em diversos projetos do portfólio do empreiteiro geral e não apresentam uma data de expiração. Para a simulação da tarefa *T1.3*, o Utilizador1 seleciona as portas do *AIM* criado no *Blender* e na tarefa *T1.4* seleciona os conjuntos de atributos

IFC a serem recolhidos no estaleiro, os conjuntos "*Pset_ManufacturerTypeInformation*" e "*Pset_DoorCommon*" foram selecionados, além de imagens documentando o progresso de uma obra em conjunto com alguns recibos de pagamento. Na tarefa *T1.5* o Utilizador1 deve enviar este conjunto de objetos a serem enriquecidos para o Utilizador2, isto é realizado através de um novo formato de colaboração que foi baseado no *BIM Collaboration Format (BCF)*, este formato foi desenvolvido exclusivamente para fins de troca de informações para a fase de construção e é chamado de Formato de Enriquecimento Colaborativo (*Enrichment Collaboration Format – ECF*). O *ECF* é necessário pois o *BCF* possui uma estrutura rígida com campos definidos e não permite a completa customização dos conjuntos de propriedades a serem preenchidos pelos utilizadores. A Figura 4 destaca o protótipo da extensão *DiCE* para *Blender* que, como protótipo, ainda utiliza dados de *hash* do *blockchain* em sua interface, mas isto pode ser alterado para formatos que humanos possam ler no futuro.

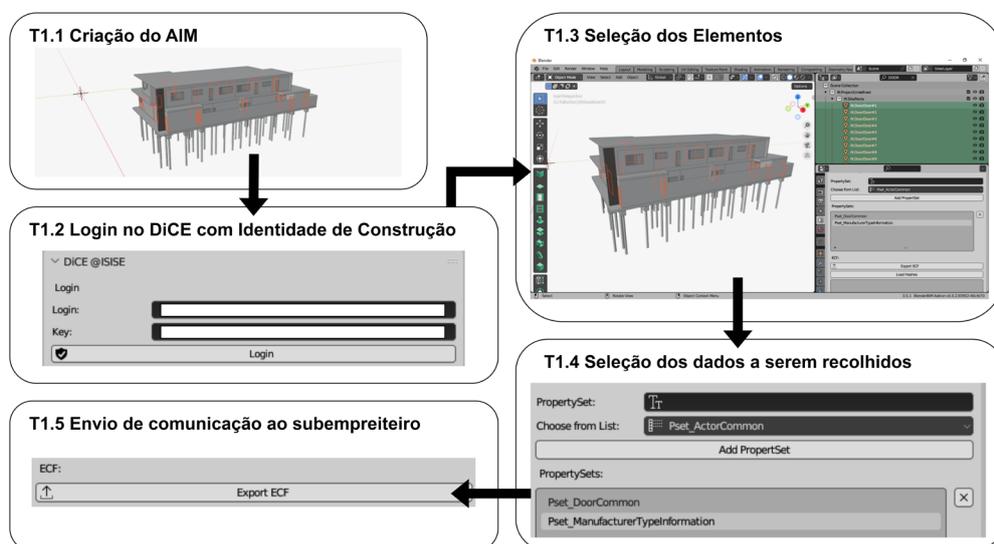


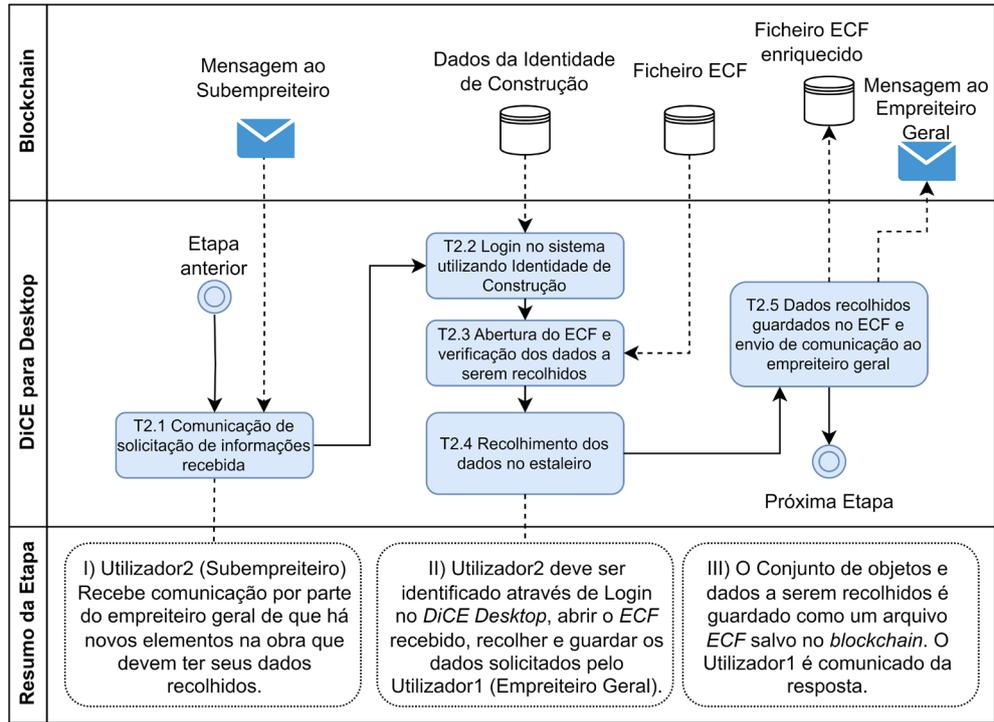
Figura 4
Fluxo da extensão *DiCE* desenvolvida para *Blender*.

3.2. Recolha dos dados de construção

O Utilizador2, após o Utilizador1 definir quais elementos e tipo de dados que devem ser recolhidos no estaleiro, é notificado sobre a existência de novos elementos cujos dados necessitam ser recolhidos e remetidos ao empreiteiro geral. Esta notificação pode ser um SMS, um e-mail ou uma notificação na versão *DiCE* para *desktop*. A Figura 5 exemplifica o processo de recolha dos dados de construção.

Figura 5

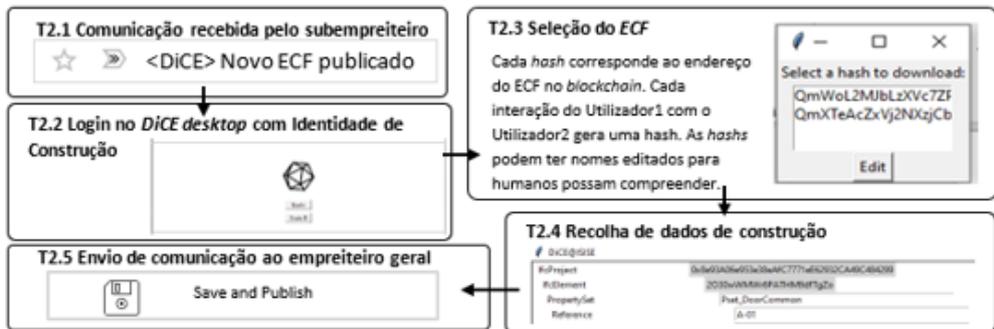
Etapas para a recolha dos dados de construção pelo subempreiteiro.



A tarefa *T2.1* é o recebimento da comunicação. A tarefa *T2.2* é o *login* do Utilizador 2 no *DiCE desktop* utilizando a sua Identidade de Construção. A tarefa *T2.3* é a abertura do *ECF* gerado pelo Utilizador1 na etapa anterior e os dados solicitados, que são interligados ao blockchain por intermédio do *ECF*, são apresentados e compreendem todos os conjuntos de propriedades de dados estruturados e não estruturados que devem ser recolhidos pelo Utilizador2. A tarefa *T2.4* é a recolha dos dados e inclusão destes no sistema *DiCE desktop*, que é um protótipo para uma futura evolução deste aplicativo para versão *mobile*. Concluída a recolha dos dados, a tarefa *T2.5* é iniciada e o Utilizador2 pode guardar o *ECF*, o que faz com que o sistema, por intermédio do *DiCE desktop*, realize a emissão de uma comunicação ao Utilizador1 informando a finalização do processo de recolha de dados no estaleiro. A Figura 6 destaca o protótipo da extensão *DiCE* para *desktop* que, como protótipo, ainda utiliza dados de *hash* do *blockchain* em sua interface, mas isto pode ser alterado para formatos que humanos possam ler no futuro.

Figura 6

Aplicativo para interação entre empreiteiro geral e subempreiteiro.



3.3. Enriquecimento do IFC

O Utilizador1 após receber a comunicação do Utilizador 2 de que os dados foram recolhidos pode seguir com o processo. A Figura 7 exemplifica as etapas de enriquecimento do IFC.

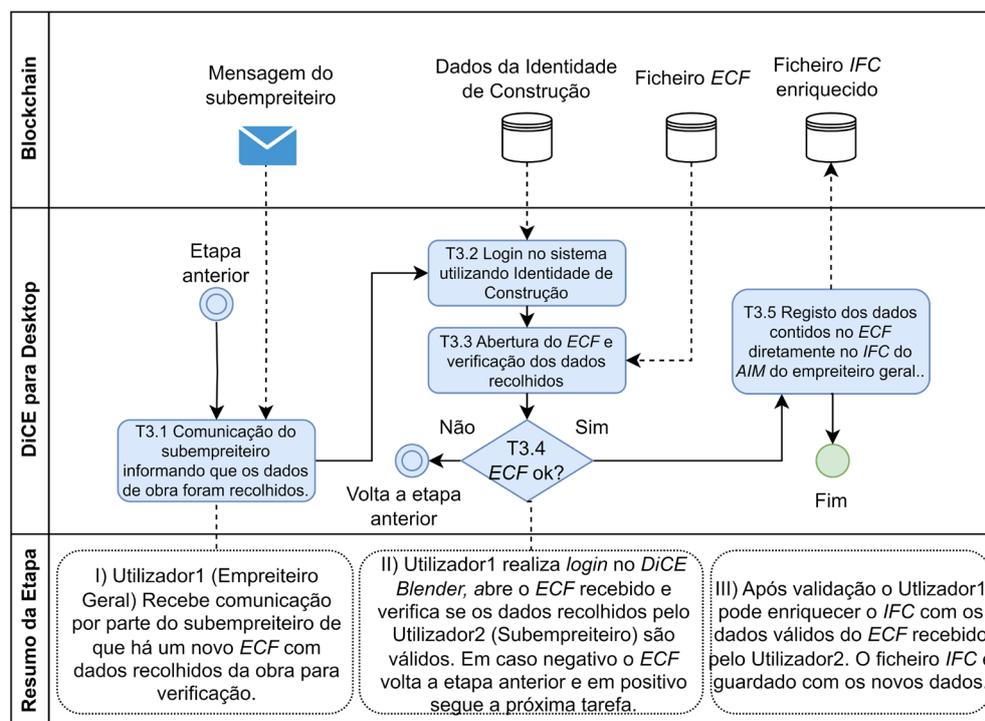


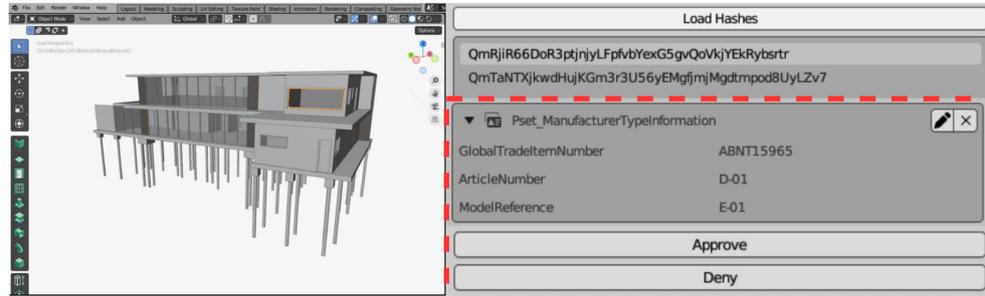
Figura 7
Etapas para o enriquecimento do IFC.

Na tarefa *T3.1* o Utilizador1 recebe uma comunicação de que há um novo ECF para ser analisado. O Utilizador1 realiza *login* no DiCE Blender na tarefa *T3.2* e segue para a análise dos dados do ECF na tarefa *T3.3*. A Figura 8 demonstra o processo de análise em que o botão “Load Hashes” carrega todos os ECFs disponíveis para enriquecimento do IFC. O Utilizador1 pode selecionar da lista o ECF a ser analisado e na tarefa *T3.4* decidir pela aprovação ou não dos dados, voltando ao processo de recolha da etapa anterior ou seguir para a tarefa *T3.5* em que poderá enriquecer os objetos do IFC. O DiCE Blender trata os dados estruturados e não estruturados de maneira distinta. Considera os dados estruturados do ECF, os quais são passíveis de armazenamento em classes específicas para sua semânticas, tais como *IfcTask*, *IfcCostItem* ou *IfcPropertySet* (utilizado neste estudo). Em contrapartida, os dados não estruturados, representados por fotografias ou vídeos, são alocados no *IfcDocumentReference*. Esta abordagem possibilita a criação de um vínculo consultável no *blockchain* direto na estrutura do IFC. A utilização da classe *IfcOwnerHistory* é utilizada para registrar o responsável pela recolha do dado, desta forma todos as classes IFC utilizadas para guardar dados de obra irão possuir um *IfcOwnerHistory* único que identifica não só o utilizador, mas também a data de inserção do dado no IFC. O enriquecimento do IFC em si não possui nenhum custo para o empreiteiro geral que consolida os dados com

um simples botão no *DiCE*, que pode ainda, através do algoritmo *sha256*, gerar uma *hash* que ateste que o *IFC* não foi modificado por nenhuma outra parte interessada além do próprio empreiteiro geral responsável pela execução da obra.

Figura 8

ECF selecionado e dados de obra carregados para o *IFC*.



Embora o empreiteiro geral não incorra em despesas para efetuar o enriquecimento do *IFC*, existem custos associados à comunicação entre a mesma e os empreiteiros. No âmbito de uma simulação, considerando que o volume de interações atinja a cifra de 10.000 - sendo que cada interação corresponde a uma única comunicação efetuada, de modo que o envio de uma mensagem é contabilizado como uma interação distinta, assim como o seu recebimento - e assumindo um custo médio de €0,05 por utilização da rede *blockchain Polygon*, estima-se que o custo total para a manutenção do sistema durante a execução de uma obra seja de €500.

4. Conclusão

A proposta inicial, que visava desenvolver um método para registrar os dados recolhidos no estaleiro, empregando o *IFC* interligado ao *blockchain* e assegurando a disponibilidade dos dados registados na fase de construção para utilização subsequente ao momento da sua recolha e registo no *IFC* foi concretizada com êxito. Há, desta forma, a garantia de que o resultado final da obra seja um *IFC* íntegro, imutável e com a possibilidade de realização de rastreabilidade e auditoria sobre todos os dados recolhidos no estaleiro. Contudo, este avanço sublinha a importância de uma classificação mais precisa dos variados tipos de dados presentes em estaleiros e a sua adequada inserção em classes *IFC* correspondentes, visando não somente à elevação da eficiência, mas também ao aperfeiçoamento semântico dos dados registados. Estudos futuros que examinem a viabilidade financeira da arquitetura da solução proposta e a performance relativa ao esquema de dados *IFC* baseados na linguagem *STEP* são essenciais para assegurar uma experiência de uso satisfatória da abordagem sugerida.

5. 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 de Estruturas (ISISE), sob a referência UIDB/04029/2020

(<https://doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020>), e sob o Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE sob a referência LA/P/0112/2020.

Referências

- [1] Lieyun, D., Ying, Z. & Burcu, A., 2014. Building Information Modeling (BIM) application framework: The process of expanding from 3D to computable nD. *Automation in Construction*, 5 May, pp. 82-93 (86).
- [2] Perera, H., Azadnia, A.H., Ghadimi, P. Development of a Multi-Agent System to Tackle Communication Fragmentation and Information Exchange in the Construction Industry (2022) *IFAC-PapersOnLine*, Volume 55, Issue 10, Pages 335-340, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.409>.
- [3] Hamid Abdirad, Carrie S. Dossick, Brian R. Johnson & Giovanni Migliaccio (2021) Disruptive information exchange requirements in construction projects: perception and response patterns, *Building Research & Information*, 49:2, 161-178, DOI: 10.1080/09613218.2020.1750939.
- [4] Wu, L., AbouRizk, S. (2023). Towards Construction's Digital Future: A Roadmap for Enhancing Data Value. In: Walbridge, S, *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2021. CSCE 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 251. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1029-6_17
- [5] Henderson, L.S., Stackman, R.W. and Lindekilde, R. (2016), "The centrality of communication norm alignment, role clarity, and trust in global project teams", *International Journal of Project Management*, Vol. 34 No. 8, pp. 1717-1730.
- [6] Gamil, Y. Rhaman, I.. Studying the relationship between causes and effects of poor communication in construction projects using PLS-SEM approach *Journal of Facilities Management*. Vol. 21 No. 1, 2023. pp. 102-148 Emerald Publishing Limited. 1472-5967. DOI 10.1108/JFM-04-2021-0039
- [7] ISO, Organization, and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 3: Operational phase of the assets, 2020, p. 7. <https://www.iso.org/standard/75109.html>.
- [8] Capgemini (2015). Blockchain: A fundamental shift for financial services institutions: what you need to know about blockchain and how to assess the opportunity. https://www.capgemini.com/br-pt/wp-content/uploads/sites/8/2017/08/blockchain_pov_2015.pdf

- [9] Li, J.; Greenwood, D.; Kassem, M. Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models, and practical use cases. *Autom. Constr.* 2019, 102, 288–307. <https://doi.org/10.1016/j.aut-con.2019.02.005>.
- [10] Gilbert, Henri & Handschuh, Helena. (2003). Security Analysis of SHA-256 and Sisters. *Sel. Areas Crypt. Lect. Notes Comp. Sci.*.3006.175-193.10.1007/978-3-540-24654-1_13.

IFC – Desafios de exportação e resolução com Python IfcOpenShell

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.12>

Hugo Silva¹, Luís Ribeirinho¹,
Sofia Henriques¹

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

Resumo

A TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A. tem desenvolvido diversos projetos em openBIM, nos quais se deparou com vários desafios de exportação de *Revit* para IFC.

Por vezes, as ferramentas e opções de exportação nativas dos programas de modelação falham, impondo-se assim a necessidade de se encontrarem soluções que deem cumprimento aos requisitos de transmissão de informação no formato IFC.

Num projeto específico que envolveu vários hospitais semelhantes, foi necessário federar diversos edifícios num só ficheiro IFC e articular a posição de cada um dos edifícios, de acordo com o hospital em questão. Para superar este desafio, que não pode ser resolvido a partir do modelo nativo, recorreu-se a *scripts* em linguagem *Python*, utilizando a biblioteca *IfcOpenShell*.

No *Revit*, é possível configurar a classificação das entidades IFC que se atribui a cada objeto através dos parâmetros *IfcExportAs* e *IfcExportType*. Contudo, existem limitações reconhecidas pela Autodesk para determinadas categorias. Este problema foi também solucionado com um *script* em linguagem *Python*, corrigindo o IFC exportado do *Revit*, e adicionando a informação que não foi transmitida para o IFC.

1. Introdução

Num contexto em que a comunicação eficiente dos dados contidos nos modelos BIM entre diversas plataformas de modelação e ferramentas BIM é cada vez mais crucial na indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), o formato IFC [2] sobressai como um elemento vital para possibilitar essa interoperabilidade. Nesse sentido, a correta estruturação e apresentação da informação relevante tornam-se imperativas, seguindo regras cada vez mais rigorosas para atender aos requisitos de comunicação e interoperabilidade de forma eficaz e eficiente.

Embora os principais programas de modelação tenham progredido consideravelmente na robustez das operações de exportação e importação de IFCs nos respetivos modelos nativos, há desafios frequentes que persistem, exigindo soluções para além das capacidades destas plataformas tecnológicas. Embora existam ferramentas disponíveis que permitem a edição de ficheiros IFC, como o *BIMvision* e o *usBIM*, é importante reconhecer que essas soluções podem apresentar limitações. Muitas vezes, a necessidade de intervenção manual extensa pode tornar os processos morosos e suscetíveis a erros, além de por vezes não oferecerem recursos avançados para lidar com a complexidade dos dados contidos nos modelos IFC.

O formato IFC, baseado na estrutura física de ficheiro STEP “Standard for the Exchange of Product Data” de acordo com a norma ISO 10303-21 [3], apresenta-se também como um ficheiro de texto ASCII editável. Compreendendo as diversas ontologias que agrupam os objetos, classes, atributos e seus relacionamentos, definidas por uma estrutura de dados preconizadas pela *buildingSMART* (*schema* do IFC), é possível contornar, como último recurso, algumas das limitações na exportação IFC que por vezes surgem nos programas de modelação, através da edição direta dos ficheiros .ifc, enquanto ficheiros de texto.

Nesta abordagem, é possível automatizar a edição dos ficheiros IFC recorrendo a *scripts* em linguagem *Python* [1], que, utilizando a biblioteca *IfcOpenShell*, permitem simplificar muitos passos envolvidos nesse processo. Este princípio oferece uma abordagem flexível para lidar com desafios específicos e aprimorar a interoperabilidade entre plataformas BIM.

2. Caso de estudo

A TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., desempenhou o papel de Entidade Fornecedora Líder num projeto multidisciplinar em openBIM de quatro hospitais, desenvolvidos em *Revit* 2022. Um dos entregáveis cruciais para este projeto era o modelo em formato IFC, com o *schema* IFC4 ADD2 TC1. Destes quatro hospitais, três partilham a mesma solução conceptual, variando apenas a posição dos vários edifícios que constituem cada unidade hospitalar, com a particularidade de alguns edifícios se repetirem.

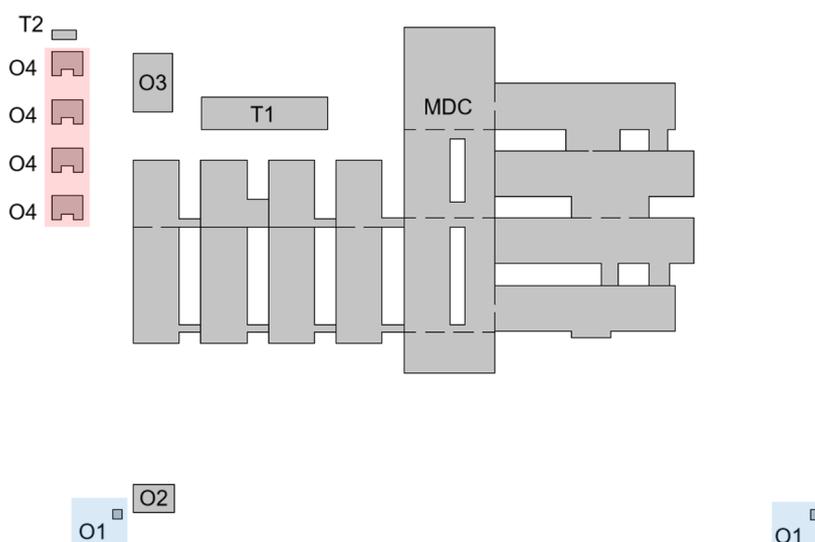


Figura 1
Diagrama dos edifícios
que compõem cada
hospital.

Conforme ilustrado na Figura 1, cada hospital compreende 11 edifícios (edifício principal + edifícios satélites). Destaca-se que o edifício satélite O1 se repete 2 vezes, enquanto o edifício O4 ocorre em quatro instâncias.

Considerando que os marcos de entrega do projeto e o ritmo de construção de cada hospital são discrepantes, optou-se por uma estratégia de modelação em que cada tipo de edifício foi modelado separadamente. Esses modelos foram posteriormente ligados a modelos agregadores específicos de cada hospital, considerando as suas respectivas localizações. Essa abordagem permitiu que à medida que os sete modelos (O1 a O4, T1, T2 e MDC) evoluíam, as atualizações eram automaticamente refletidas nos três hospitais, tornando o processo substancialmente mais eficiente, economizando tempo e esforço para todas as equipas envolvidas.

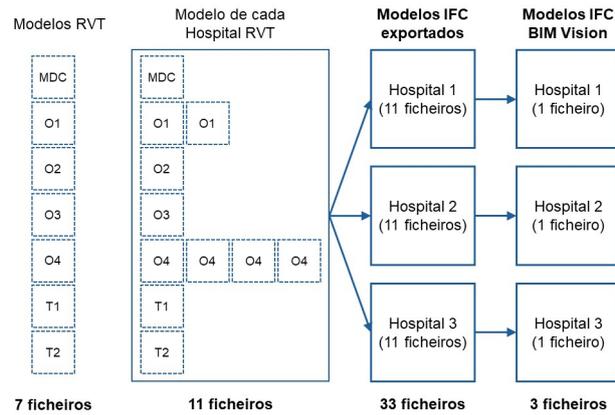
No entanto, numa fase avançada do projeto, a Entidade Requerente recusou aceitar 11 modelos IFC por especialidade para cada hospital, ou um ficheiro de cache de um visualizador IFC que agregasse os diversos modelos. Dado que o *Revit 2022* não permite a exportação de *links* para um único ficheiro IFC, esta situação tornou-se um desafio que necessitava de uma solução.

Para contornar este obstáculo, foi desenvolvido um automatismo em *Python* para manipular os IFCs exportados do *Revit* e combiná-los num único ficheiro IFC.

3. Manipulação de IFCs no caso de estudo

Antes de se iniciar o desenvolvimento do *script*, foi testado o processo de junção de IFCs num único ficheiro através do *BIMvision* com o módulo IFC Merge. Para utilizar este software foi necessário exportar para IFC todos os modelos em triplicado para cada uma das localizações, e repetir o processo para os modelos satélite que se repetiam no mesmo hospital.

Figura 2
Modelos IFC Exportados
para utilização no
BIMvision.



Como mostra a Figura 2, caso este método fosse aplicado, o processo de exportação de IFCs implicaria gerar 33 ficheiros IFC por disciplina a cada entrega. Como na altura, o BIMvision não tinha a opção de gerar novos GUIDs, os elementos dos edifícios satélite que se repetiam ficavam com o mesmo GUID, o que gerava um conflito de elementos no momento da sua junção. Seria possível a alteração dos GUIDs, como se acabou por fazer com o *script* (que se explica abaixo), mas a exportação dos 33 IFCs a cada entrega seria demorado e sujeito a erros na escolha correta de cada localização para cada modelo *Revit* no momento da exportação.

A seguir foi estudado o processo através da edição manual dos vários IFCs em modo de ficheiro de texto, a fim de determinar o melhor fluxo a adotar para a automatização. Determinou-se que copiando a informação da “data section” de um segundo ficheiro IFC, com alteração prévia das numerações dos STEP ids de modo que não houvesse repetições com os ids do primeiro modelo IFC para onde esta informação é copiada, estes dois modelos ficam unidos num único ficheiro.

Seguindo este princípio, adicionaram-se mais modelos ao primeiro modelo. Contudo, era importante ajustar a estrutura do novo IFC. Este ajuste visava a eliminação dos *lfcProject* e os *lfcSite* em excesso e associar os vários *lfcBuilding* ao mesmo *lfcSite*, assegurando uma estrutura hierárquica correta do IFC.

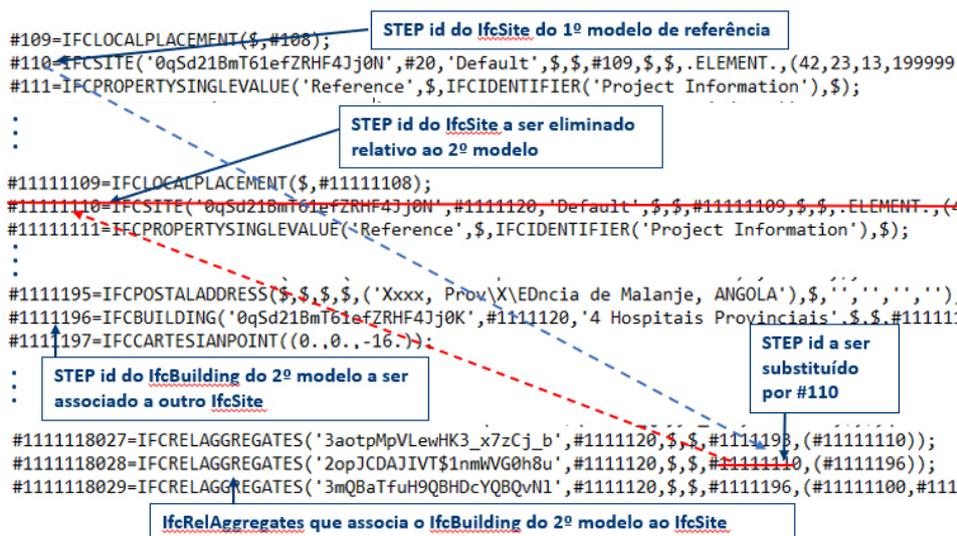


Figura 3
Exemplo de associação lfcBuilding a outro lfcSite.

Para realizar essa associação, foi necessário identificar o STEP id do lfcBuilding de cada modelo adicional e do seu lfcRelAggregates, que o relaciona ao lfcSite. De seguida, substituiu-se o número do STEP id referente ao lfcSite do primeiro modelo de referência, conforme ilustrado na Figura 3.

Cada instância da classe lfcBuildingStorey possui um lfcObjectPlacement definido com coordenadas relativas ao lfcBuilding, enquanto o posicionamento de cada objeto é determinado pelo lfcObjectPlacement associado ao lfcBuildingStorey correspondente. Portanto, a localização de todos os elementos está intrinsecamente ligada à posição global do lfcBuilding.

Assim, para ajustar a posição dos elementos de cada edifício, adicionaram-se duas linhas/instâncias ao ficheiro, lfcCartesianPoint e lfcAxis2Placement3D, onde se definiu novas coordenadas e associou-se o seu STEP id ao respetivo lfcLocalPlacement que posiciona o lfcBuilding.

No âmbito deste caso de estudo, o objetivo era exportar apenas os sete ficheiros IFC e, a partir destes, criar automaticamente um IFC para cada um dos três hospitais, composto pelos 11 edifícios, através do automatismo proposto – ver Figura 4.

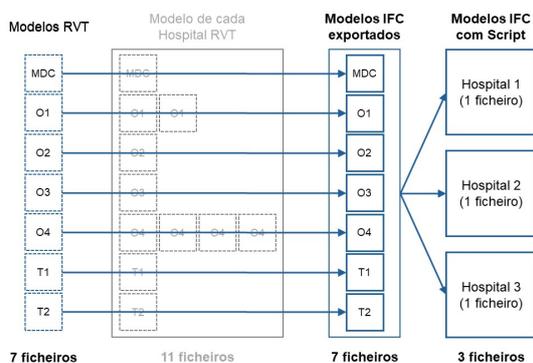
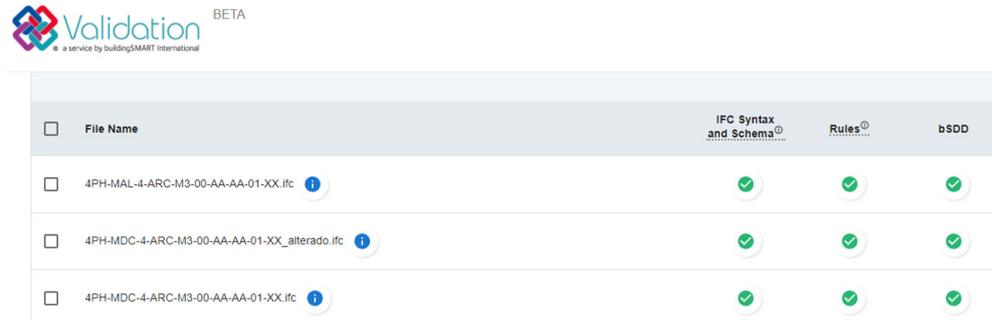


Figura 4
Modelos IFC Exportados para utilização pelo Script.

Em cada iteração, o ficheiro IFC editado foi aberto em cinco visualizadores IFC distintos de referência (BIMCollab ZOOM, Solibri, BIMvision, usBIM e XbimXplorer) para verificar e garantir que poderia ser utilizado com sucesso de uma forma abrangente.

Figura 5
Relatórios do serviço de validação de IFCs disponibilizado pela buildingSMART.



The screenshot shows the 'Validation BETA' interface by buildingSMART International. It displays a table with three columns: 'File Name', 'IFC Syntax and Schema', and 'Rules', along with a 'bSDD' column. Three files are listed, all with green checkmarks in the 'IFC Syntax and Schema', 'Rules', and 'bSDD' columns, indicating successful validation. Each file name has a small blue information icon next to it.

<input type="checkbox"/> File Name	IFC Syntax and Schema	Rules	bSDD
<input type="checkbox"/> 4PH-MAL-4-ARC-M3-00-AA-AA-01-XX.ifc ⓘ	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> 4PH-MDC-4-ARC-M3-00-AA-AA-01-XX_alterado.ifc ⓘ	✓	✓	✓
<input type="checkbox"/> 4PH-MDC-4-ARC-M3-00-AA-AA-01-XX.ifc ⓘ	✓	✓	✓

Tendo o processo estabilizado, foi também feita uma verificação final utilizando o serviço da buildingSMART de validação de modelos IFC. Na Figura 5, encontram-se alguns relatórios retirados deste serviço da buildingSMART.

3.1. Automatismo: Alterar a informação nos modelos

A fase inicial do processo automatizado envolve a leitura do nome dos 7 ficheiros IFC exportados, os quais estão localizados numa pasta específica para este propósito. A partir desses ficheiros exportados, o *script* cria ficheiros IFC temporários, duplicando os ficheiros para os edifícios que se repetem e adicionando um prefixo a cada ficheiro para distinguir todos 11 edifícios.

Durante a criação destes ficheiros IFC temporários, são efetuadas alterações nas propriedades de cada modelo individual, incluindo o nome do *IfcBuilding* e a sua posição relativa. Para realizar essas modificações, foram empregues dicionários que associam a codificação destes ficheiros às coordenadas específicas onde cada edifício deve ser posicionado, dependendo do hospital em questão.

A utilização do *IfcOpenShell* simplificou significativamente o *script* no reposicionamento dos edifícios. Uma única linha de código realizou o que seria necessário implementar em várias linhas de código utilizando a abordagem clássica de edição das linhas de texto do ficheiro, no formato .txt.

Numa nota importante, alguns dos modelos temporários eram cópias da mesma exportação (edifícios O1 e O4), resultando em objetos com o mesmo GUID. Antes de se juntar esses modelos num único ficheiro, tornou-se necessário gerar novos GUIDs, garantindo assim que não existiriam elementos com GUIDs duplicados e salvaguardando a utilização bem-sucedida do novo ficheiro federado.

3.2. Automatismo: Unir modelos

Com a informação devidamente organizada nos modelos temporários, o *script* procede à união destes modelos, gerando um novo ficheiro de raiz que incorpora cada instância de cada modelo temporário. Neste processo, a ferramenta *IfcOpenShell* é novamente empregue, não só para unir os edifícios/modelos num único ficheiro, mas também para remover as entidades *IfcProject* e *IfcSite* dos modelos IFC agrupados, com a exceção do primeiro ficheiro da lista. Este procedimento associa todos os *IfcBuilding* ao mesmo *IfcSite* e *IfcProject*. Ao finalizar, o *script* elimina os IFCs temporários que serviram de base à criação do modelo IFC federado num único ficheiro.

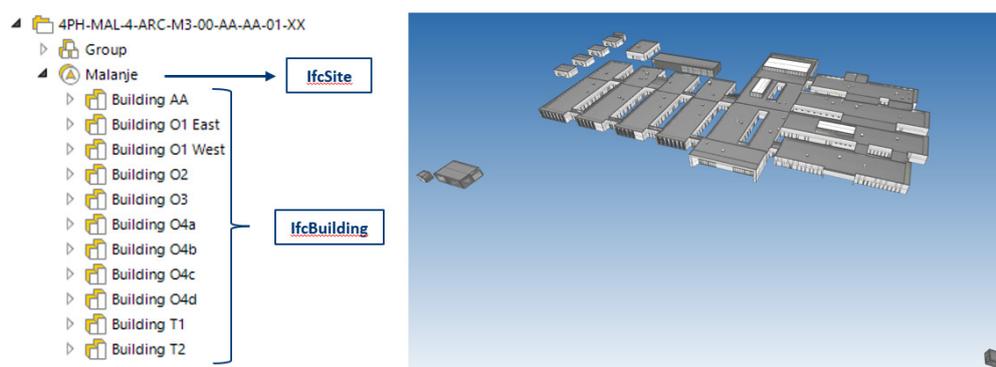


Figura 6
Modelo IFC resultante do *script*, visualizado no BIMCollab ZOOM.

Conforme a Figura 6 ilustra, a estrutura do modelo federado IFC segue uma hierarquia de *IfcProject* > *IfcSite* > *IfcBuilding* 1 + *IfcBuilding* 2 +...+ *IfcBuilding* *n*, ou seja, um só *IfcSite* que contém os diferentes *IfcBuilding*, conforme previsto no *schema* da *buildingSMART*. Apesar de comprovadamente funcionar nos vários visualizadores IFC, a Entidade Requerente, que opera em *Archicad 15* e é responsável por preparar os modelos dos equipamentos médicos, reportou a impossibilidade de importar todos os edifícios para este programa. Esta versão do *Archicad*, permite a importação de apenas um *IfcBuilding* por IFC, limitando a utilização dos modelos com esta estrutura, especialmente os IFCs de Arquitetura e Estrutura, que precisavam ser importados no *Archicad*.

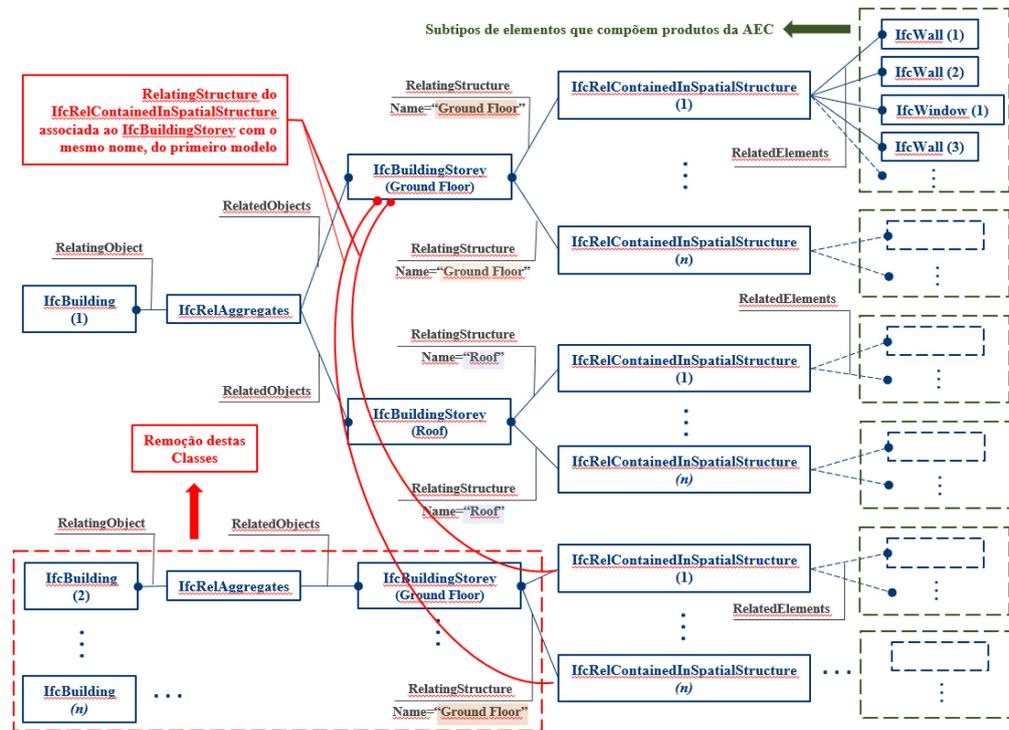
Face a essa limitação, foi adicionada uma variante ao *script*. A partir do novo modelo IFC federado, são reunidos todos os relacionamentos *IfcRelContainedInSpatialStructure*, realocando os elementos aos *IfcBuildingStorey* originários do primeiro modelo temporário.

Para isso, foi crucial o cumprimento do BEP, especificamente na definição dos *IfcBuildingStorey*, onde todos os *IfcBuilding* seguem a mesma estrutura de *IfcBuildingStorey*, nomeadamente a sua nomenclatura.

Considerando a intenção de alocar cada objeto a um outro *IfcBuildingStorey* com o mesmo nome onde está atualmente alocado, o *script* correlaciona o nome do *RelatingStructure* de cada *IfcRelContainedInSpatialStructure* através de ciclos contados

(loops). Nessa correlação, se for verificado que o nome do seu RelatingStructure é igual ao nome de um dos IfcBuildingStoreys de referência, a relação espacial é atribuída ao IfcBuildingStorey correspondente.

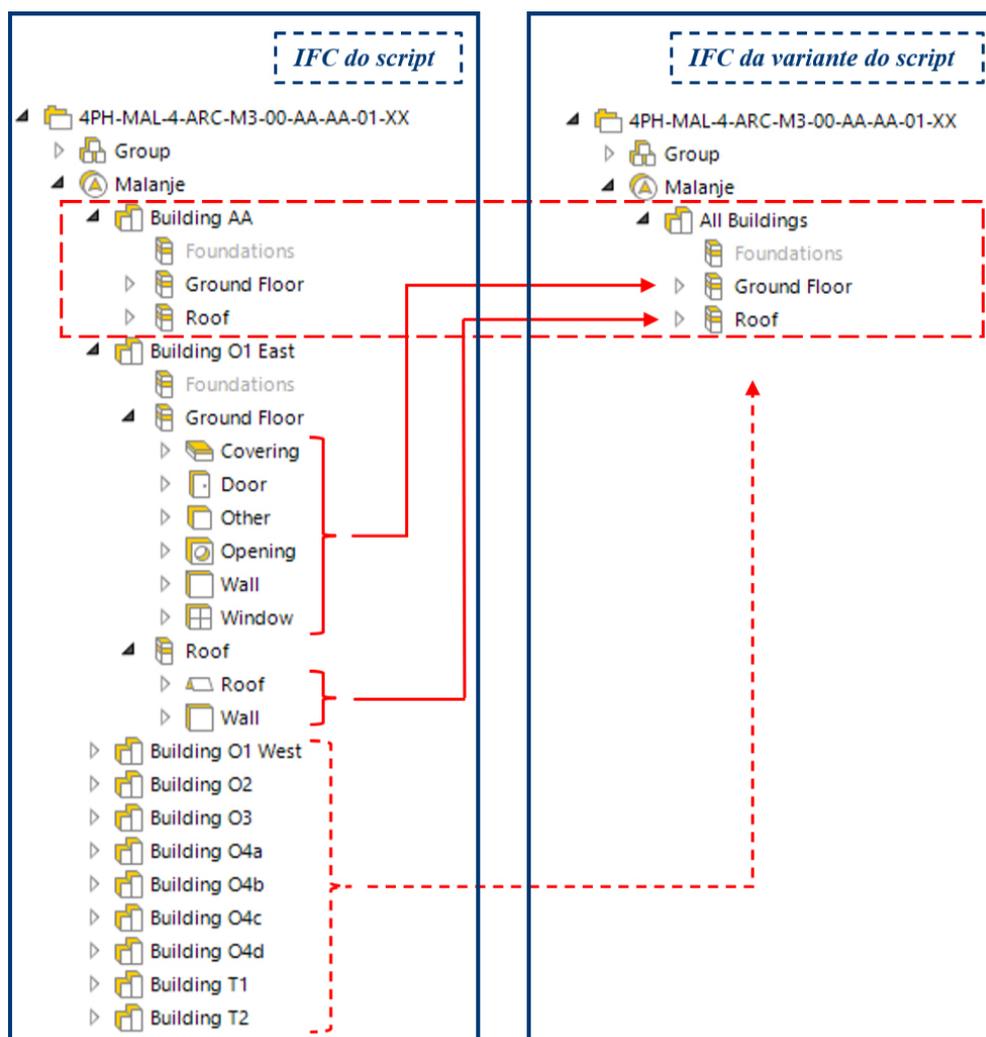
Figura 7
Esquema de realocação de objetos a outro IfcBuildingStorey.



Na Figura 7 pode ser encontrado um esquema representativo da realocação de objetos a outro IfcBuildingStorey.

Após a alocação de todos os objetos a um único IfcBuilding, nos respectivos IfcBuildingStorey, o *script* remove os outros IfcBuilding e respectivos IfcBuildingStorey (que ficaram sem objetos alocados).

Para melhor ilustração, a Figura 8 apresenta a estrutura IFC originada por esta variante do *script*, em comparação à estrutura IFC criada pelo *script* original.

**Figura 8**

Comparação das duas estruturas IFC resultantes do *Script*, visualizado no BIMCollab ZOOM.

4. Outras aplicações de manipulação de IFCs

Além das diversas manipulações aos IFCs descritas no capítulo anterior, foram também desenvolvidos outros *scripts* para lidar com situações pontuais.

4.1. Classificação IFC

Nos modelos *Revit* da disciplina de Arquitetura, os capeamentos de parapeitos são frequentemente modelados na categoria *Revit* “*Wall Sweeps*”. No entanto, a *Autodesk* reconhece uma lacuna não resolvida no *Revit* quanto à exportação destes elementos para a classificação IFC adequada. A opção de se utilizar o parâmetro *IfcExportAs* para atribuir a classificação IFC não funciona para esta categoria de objeto, resultando com que este seja gerado como *IfcBuildingElementProxy*, ou seja, sem classificação IFC.

Considerando que a classificação IFC desejada para esses objetos é *IfcCovering*, que partilha das mesmas instâncias hierárquicas do *IfcBuildingElementProxy*, a TPF

Consultores desenvolveu um *script* que edita o ficheiro em formato .txt, aplicando essa classificação. Este *script* substitui o texto “IFCBUILDINGELEMENTPROXY” por “IFCCOVERING”, nas linhas de texto que contêm esta classificação (IfcBuildingElementProxy), juntamente com a palavra “Capeamento”.

Além disso, o *script* utiliza IfcOpenShell para criar o Pset_CoveringCommon previsto na buildingSMART, e adiciona a informação em falta a este Pset que não foi transferida do modelo *Revit* para o IFC. Essa abordagem garante a correção da classificação e a inclusão da informação necessária, mantendo a qualidade dos modelos IFC resultantes.

4.2. Alteração de cor de elementos IFC

Num caso muito específico, o Cliente solicitou a alteração das cores de paredes e tetos nos modelos IFC de arquitetura, visando uma apresentação importante que se iria realizar nesse mesmo dia, durante a visita de um ministro. Dada à limitação do tempo disponível para atender a esse pedido, que era insuficiente para abrir todos os modelos *Revit*, alterar as definições de materiais (cores) e fazer novas exportações IFC, optou-se por editar diretamente os IFCs que já tinham sido entregues anteriormente.

Para responder a esse desafio, foram desenvolvidas algumas linhas de código em *Python*, capazes de editar cada ficheiro IFC, enquanto formato .txt, procurando nas classes IfcColourRGB a cor que se pretendia alterar e efetuar a alteração para a cor desejada. De notar que o IFC utiliza o sistema de cores RGB, mas essas cores são definidas entre 0 e 1, em contraste com o intervalo de números inteiros de 0 a 255 utilizado para definir cores.

5. Futuros desenvolvimentos

Apesar das novas possibilidades de exportação de um modelo *Revit* na versão 2024 com *links* para um único ficheiro IFC, esta funcionalidade ainda apresenta problemas e erros no momento da exportação. No *BIMvision* também já existe a possibilidade de gerar novos GUIDs para os elementos combinados num único ficheiro IFC, mas para situações como o do caso de estudo apresentado continua a ser necessário a exportação dos 33 ficheiros como descrito no Capítulo 3. Por isso a TPF continua a explorar e desenvolver ferramentas que auxiliem este processo, e que permitam maior controlo e qualidade dos IFCs gerados.

Atualmente, está em andamento a implementação de um fluxo com JSON, com o propósito de armazenar os GUIDs dos modelos exportados correlacionados aos novos GUIDs gerados pelo *script*. Este processo visa preservar o novo GUID de cada objeto, mantendo uma base de dados onde novos GUIDs são atribuídos apenas a objetos que ainda não passaram pelo *script*. Embora a variação de GUIDs não seja uma condicionante para a Entidade Requerente do caso de estudo apresentado neste artigo, esta melhoria tem como objetivo entregar os modelos IFC sem que haja variação

nos mesmos objetos partilhados em momentos diferentes. A manutenção do mesmo GUID em cada objeto revela-se particularmente relevante para assegurar uma rastreabilidade eficaz de colisões/conflitos comunicados através do formato BCF.

6. Conclusões

O desenvolvimento de *scripts Python* para a manipulação eficiente de modelos IFC revelaram-se cruciais para enfrentar desafios específicos no contexto de entregas de projeto de engenharia e arquitetura em openBIM. A utilização da biblioteca *IfcOpenShell* demonstrou ser uma ferramenta valiosa, simplificando tarefas complexas e possibilitando ajustes precisos nos modelos IFC.

A automatização do processo de união de modelos IFC, proporcionou uma assimilação mais eficaz entre diferentes hospitais num projeto multidisciplinar de grande escala em openBIM. A capacidade de lidar com limitações específicas de determinadas plataformas, como a importação no *Archicad*, evidenciou a flexibilidade e adaptabilidade dos *scripts* desenvolvidos.

Além disso, a criação de *scripts* para classificação IFC e a alteração dinâmica de cores em modelos IFC num tempo muito curto demonstrou a versatilidade e rapidez que a automação proporciona, atendendo a requisitos específicos do Cliente.

Em síntese, os *scripts* desenvolvidos não apenas otimizaram processos operacionais, mas também demonstraram ser uma resposta ágil e eficaz para cenários específicos em que os programas de modelação não conseguem dar resposta. Ao fazer isso, proporcionam uma maior flexibilidade e robustez aos projetos de engenharia e arquitetura, especialmente quando envolvem a interoperabilidade de modelos BIM através do formato IFC.

Referências

- [1] João Pavão Martins, *Programação em PYTHON: Introdução à programação utilizando múltiplos paradigmas*. Instituto Superior Técnico, 2020.
- [2] ISO/TC59/SC13, "ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries", International Organization for Standardization (ISO), 2018.
- [3] ISO/TC 184/SC 4, "ISO 10303-21:2016 Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure", International Organization for Standardization (ISO), 2016.

Plataforma BIM para criação de regulamentos digitais no âmbito do licenciamento urbanístico

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.13>

**Bruno Muniz¹, José Granja²,
Miguel Azenha³**

¹ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID:0000-0002-3183-9779*

² *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID: 0000-0002-0858-4990*

³ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ORCID:0000-0003-1374-9427*

Resumo

Apesar da relevância do licenciamento urbanístico para a garantia da qualidade e desempenho do parque edificado, este é marcado pela baixa utilização de recursos tecnológicos, o que é um dos fatores que implicam na pouca eficiência para a emissão de alvarás de construção e nos atrasos para emissão de licenças de construção. A utilização do BIM para a automatização parcial das verificações de conformidade demonstra ser uma das formas de otimizar o processo de licenciamento, com diversos exemplos de investigação e implementação nas últimas duas décadas. Porém ainda há diversos desafios para se implementar soluções de forma mais abrangente e escalável. Neste contexto, a utilização de sistemas para a criação de regulamentos digitais que possam ser criados por técnicos do licenciamento e utilizados para a verificação de conformidade em modelos BIM é um dos campos promissores, principalmente a partir da utilização de linguagens visuais, que tornam os esforços de digitalização dos regulamentos mais acessíveis. Desta forma, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de plataforma que permite a criação de regulamentos digitais através de linguagem de programação visual baseada em blocos e a execução de verificações de conformidade a partir de modelos IFC.

1. Introdução

O licenciamento urbanístico é a ferramenta de controlo do estado para garantir o desenvolvimento de um parque edificado com características adequadas de desempenho em diversos parâmetros, p. ex. salubridade, acessibilidade, segurança e sustentabilidade [1], [2]. Em Portugal, os processos para a obtenção de uma licença ocorrem maioritariamente sob a competência das câmaras municipais, que precisam avaliar e deliberar sobre algumas das operações urbanísticas, a exemplo da construção de novos edifícios, a partir da verificação de conformidades dos projetos de obras [3]. Esta verificação parte da análise das características da edificação em função de uma série de requisitos presentes num quadro regulamentar. Contudo, este processo ainda é maioritariamente manual, recorrendo ainda, em alguns casos, a documentos impressos. Este fator contribui para a baixa eficiência, morosidade e potenciais erros para a emissão de licenças de construção [4].

A utilização do BIM para automatizar o processo de verificação de conformidades é um campo promissor, que já conta com diversos exemplos de implementação e investigação a nível nacional e internacional [4]. O caso de Singapura é um dos exemplos pioneiros de implementação, com o desenvolvimento do sistema CORENET, que permite a avaliação parcial do quadro regulamentar a partir de ficheiros IFC. Todavia, é preciso mencionar os exemplos da Finlândia [5], Noruega [6], Reino Unido e Coreia do Sul [7], que implementaram, grande parte baseados em soluções proprietárias, seus próprios sistemas de verificação. Contudo, ainda resta uma série de desafios para uma efetiva e abrangente integração do BIM a nível do licenciamento, sendo os exemplos existentes ainda limitados a algumas disciplinas, pouco flexíveis e usualmente suportados por soluções de código fechado e proprietárias [8].

Uma componente essencial de sistemas de verificação de conformidade automáticos são as regras de verificação executáveis por máquina, que são desenvolvidas através de uma interpretação da linguagem natural dos regulamentos e posterior implementação através de linguagens de programação. Esta componente também implica em grande desafio de escalabilidade nos sistemas de verificação, principalmente devido à quantidade de regulamentos que precisa ser implementado usualmente por pessoal especializado em programação.

Existem diversas estratégias para executar a interpretação de regulamentos, que partem desde a implementação direta num algoritmo [8], até a utilização de recursos de marcação semântica e machine learning [9]. Porém uma das mais estabelecidas é a RASE, que recorre a marcadores semânticos para extrair requisitos, condições de aplicabilidade e exceções dos textos em linguagem natural [10].

Já os métodos de implementação podem envolver a utilização de linguagens de programação já estabelecidas e de uso geral, como o C# [11], ou linguagens específicas de domínio para BIM [12], [13]. As linguagens específicas de domínio usualmente apoiam-se no desenvolvimento de um modelo de entidades específicas do domínio de forma a fornecer uma sintaxe mais especializada à implementação de verificações

de conformidade, contudo, estas linguagens possuem dificuldades de implementação devido à pouca quantidade de conteúdo disponível, à pequena comunidade de utilizadores e à falta de suporte. Já as linguagens de uso geral também podem implementar os modelos de entidades através de um design orientado a objetos ou a partir de ontologias [15].

Outro desafio para se implementar regulamentos através de linguagens de programação é a necessidade de pessoal técnico especializado. Desta maneira, algumas linguagens de programação visual foram desenvolvidas para tornar o processo de codificação de regulamentos mais acessível [5], [16], [17]. Estas linguagens permitem criar os regulamentos interpretáveis por máquina a partir da associação de elementos visuais como blocos e linhas de fluxo. Posteriormente, esses códigos em linguagem visual são utilizados para gerar algoritmos em linguagens tradicionais, como C# e Python, de forma a viabilizar a execução das verificações de conformidades. Os exemplos de implementação de linguagens visuais, porém, ainda são poucos e carecem demonstrar aplicações escaláveis e viáveis para a implementação.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a implementação de um protótipo de plataforma web para a criação de regulamentos digitais que permite codificar os requisitos do quadro regulamentar através de uma linguagem de programação visual baseada em blocos. Este sistema, por sua vez, também permite a utilização destes regulamentos digitais para a execução de verificações automáticas de conformidade a partir de modelos IFC.

O trabalho parte da análise de algumas cláusulas de regulamentos portugueses, a fim de se estabelecer um modelo de entidades do licenciamento. Seguidamente, é apresentado o desenvolvimento de linguagem de programação visual baseada no modelo desenvolvido e implementada numa plataforma web desenvolvida a partir de ferramentas e bibliotecas de código aberto. Finalmente, o desenvolvimento foi pautado em princípios de escalabilidade, com a criação de componentes que podem ser expandidos para uma maior abrangência de verificações, assim como a atualização de conceitos empregados no urbanismo.

2. Desenvolvimento de modelo de entidades do licenciamento

2.1. Análise de regulamentos e conceptualização do modelo

O desenvolvimento do modelo conceptual do licenciamento partiu da análise de 9 cláusulas objetivas do quadro regulamentar português, a fim de obter as entidades (i.e. objetos e propriedades) utilizados para a execução de verificações. Para a elaboração deste modelo, começou-se por implementar a metodologia RASE, com a marcação dos textos das cláusulas, como pode ser visto na Figura 1.

Este procedimento facilitou a obtenção das entidades das cláusulas, das condições de aplicabilidade das regras e dos requisitos a ser avaliados. Porém, apesar da sua eficiência para a avaliação de casos simples de verificação, que se baseiam na determinação do valor para propriedades de objetos, o método exige algumas adaptações para situações mais complexas. Assim, referências e exceções entre regras e regulamentos, distâncias a planos a ser verificados, entre outras situações, implicam complexidades de representação com o método que o tornam pouco eficiente.

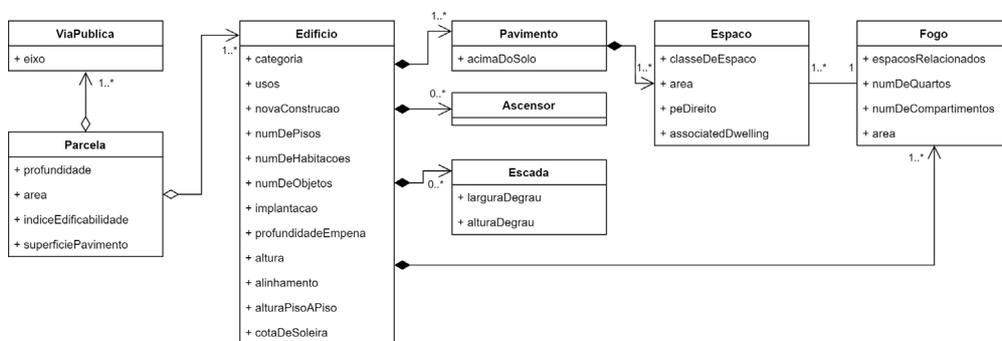
Outro ponto relevante observado na interpretação dos regulamentos foi a obtenção de definições e tratamento de ambiguidades e omissões, que impedem a correta implementação de algumas regras. Desta forma, ficou evidente que o processo de implementação dos regulamentos atuais do licenciamento é um processo a ser desenvolvido em conjunto com especialistas do urbanismo.

Figura 1
 Marcação através da metodologia RASE.

Cláusula	Texto
RGEU, Artigo 46.º 7	<p> <R>Os <a>degraus das escadas das edificações para <s>habitação colectiva </s>terão a <r>largura (cobertor) mínima de 0,25 m </r> e a <r>altura (espelho) máxima de 0,193 m </r>. <E>No entanto, <s>nos edifícios de três, quatro ou cinco pisos </s> e <s>sempre que não seja instalado ascensor </s>, a <r>largura (cobertor) mínima será de 0,280m </r> e a <r>altura (espelho) máxima será de 0,175m </r>. </E></R> </p>

A partir da obtenção das entidades e das suas propriedades, foi possível conceptualizar um modelo representativo do domínio do licenciamento para as cláusulas analisadas, como apresentado na Figura 2. Este modelo representa todas as entidades, propriedades e relações entre os conceitos utilizados nas cláusulas analisadas e serviu de base para a execução do mapeamento com o modelo IFC e a sua posterior implementação através da linguagem Python.

Figura 2
 Modelo conceptual de entidades desenvolvido.



2.2. Mapeamento ao modelo IFC

O procedimento central para a implementação do modelo conceptual foi o seu mapeamento com a estrutura de dados do IFC, que demonstrou ser um dos maiores desafios na implementação do sistema. Para tal, foi necessário avaliar, para cada uma das entidades do modelo conceptual, como obter a informação a partir de classes, propriedades e relações da estrutura do IFC. Todavia, esse exercício demonstrou que usualmente as relações não podem ser de 1:1, sendo que uma entidade no modelo conceptual pode necessitar ser representada através duma complexa relação entre os objetos do IFC. Para tratar destes casos mais complexos, foi preciso considerar a utilização de sistemas de classificação e processamento geométrico, que demonstraram ser essenciais para uma efetiva implementação.

O processamento geométrico foi implementado através da integração de uma biblioteca de processamento de malhas poligonais com a biblioteca de análise de ficheiros IFC, em classes que permitem a consulta ao modelo e associação de métodos de alto nível (p. ex. obtenção de volume e área de secção transversal) a cada um dos objetos obtidos. A utilização do processamento geométrico para obter informações do IFC demonstrou ser uma estratégia possível para diminuir a necessidade de criação de propriedades customizadas na modelação e consequentemente gerar requisitos de informação mais simples do ponto de vista dos dados alfanuméricos. A Tabela 1 apresenta a descrição, em alto nível de abstração, da forma pela qual algumas das propriedades dos objetos foram obtidas através de recursos de processamento geométrico.

Tabela 1: Exemplos de mapeamentos entre modelos de entidades e modelo IFC.

Parcela	
+ profundidade	A profundidade de elementos, como definida anteriormente, foi definida a partir da profundidade da 'bounding box' orientada do elemento com definição do arruamento como malha frontal.
Edifício	
+ profundidade de Implantacao	A profundidade de implantação foi considerada como a distância ortogonal máxima entre o alinhamento e os elementos do edifício.
+ alinhamento	O alinhamento foi considerado como a linha formada pelos pontos mais próximos entre a projeção da parcela na maior elevação da via pública e a projeção da via pública.
Pavimento	
+ areaBruta	A área bruta do pavimento foi considerada como a área de todos os espaços de um pavimento, mais as áreas das projeções das paredes internas e externas ao nível do piso, sem considerar as áreas das varandas.
Espaco	
+ area	A área do espaço foi considerada como a área da secção transversal do espaço considerado como fogo, na altura do plano definido pelo seu centroide.

A utilização de um sistema de classificação demonstrou ser uma boa estratégia para casos como obtenção de compartimentos duma edificação, p. ex. cozinha, varanda, sala. O sistema escolhido foi o SECCLasS, já que o seu desenvolvimento parte da

implementação de particularidades do setor da construção português. Contudo, verificou-se que em alguns casos o sistema é incompleto ou pouco especializado para o domínio do licenciamento, o que implicou na criação de novos códigos para a representação de entidades como “quartos duplos” ou “arrecadações”. A classificação também demonstrou ser uma alternativa para determinar elementos como o “fogo”, “parcela” e a “cota de soleira”.

Parte do desafio do mapeamento também partiu das limitações de modelação presentes nos softwares proprietários, como por exemplo a impossibilidade de criar espaços anexados a outros espaços, o que é previsto no modelo IFC a partir do atributo “CompositionType”.

Na Tabela 2, é possível observar o mapeamento de algumas das entidades e propriedades que não necessitaram de processamento geométrico e recorreram ao uso de classificação, propriedades nativas do IFC (NP) e propriedades customizadas (PP).

Tabela 2: Exemplos de mapeamentos entre modelos de entidades e modelo IFC.

Modelo de entidades	Modelo IFC
Parcela	IfcSpace com classe “SL_22_05”
ViaPublica	IfcSpace com classe “SL_22_10”
Edifício	IfcBuilding
+ categoria	PP: Category
+ usos	PP: Uses
+ novaConstrução	PP: IsNewConstruction
+ cotaSoleira	Propriedade Elevation do IfcBuildingStorey com classe “En_95_05”
Elevador	IfcTransportElement.ELEVATOR
Escada	IfcStair
+ larguraDegrau	NP: TreadLength
+ alturaDegrau	NP: RiserHeight
Pavimento	IfcBuildingStorey
Fogo	IfcSpace com classe “SL_22_15”
+ referência	PP: DwellingReference
Espaco	IfcSpace
+ classeDeEspaco	Classificação (IfcClassification)
+ fogoAssociado	PP: AssociatedDwelling

3. Criação de linguagem visual e implementação de protótipo de plataforma

3.1. Linguagem de programação visual

A criação da linguagem visual foi assistida pela biblioteca de código aberto Blockly, baseada em JavaScript, e desenvolvida pela google. Esta biblioteca permite a criação duma linguagem de programação baseada em blocos que gera outra linguagem baseada em script a ser interpretada. Desta forma, o desenvolvimento da linguagem foi

executado a partir de duas atividades principais: (i) criação da sintaxe da linguagem (ii) desenvolvimento dos geradores de código.

A abordagem adotada na primeira tarefa consistiu em criar diferentes categorias de blocos para representar os elementos necessários para a criação de regras de verificação. Assim, foram criadas 5 categorias de código, demonstrados na Figura 3: (a) blocos representativos do modelo de entidades e suas propriedades; (b) blocos que representam declarações e operadores lógicos; (c) blocos que determinam os requisitos que devem ser verificados; (d) blocos para representar operações matemáticas e (e) blocos que representam valores.

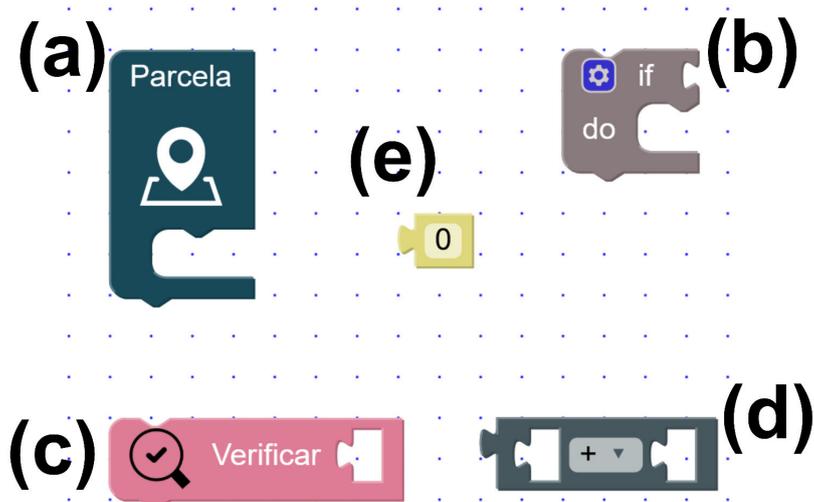


Figura 3
Categorias de blocos desenvolvida: (a) blocos do modelo; (b) blocos de lógica; (c) blocos de verificação; (d) blocos de matemática; (e) blocos de valores.

As categorias desenvolvidas possuem blocos capazes de executar todas as verificações analisadas, como representado na Figura 4 e potencialmente executar diversas outras verificações a partir da criação de outros algoritmos e alteração de valores. Outra vantagem da categorização foi a implementação duma identidade visual, o que facilita o entendimento e utilização da linguagem. Além disso, essas categorias podem servir de base para a expansão através de novos blocos e conseqüentemente uma capacidade mais abrangente de codificação de regras.

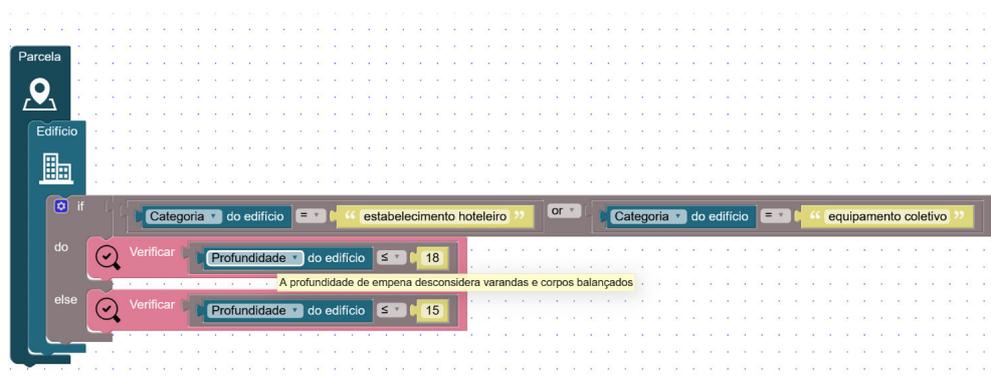


Figura 4
Regra em blocos para o RPDML Artigo 43.º, parágrafo 1.

3.2. Implementação de protótipo de plataforma web

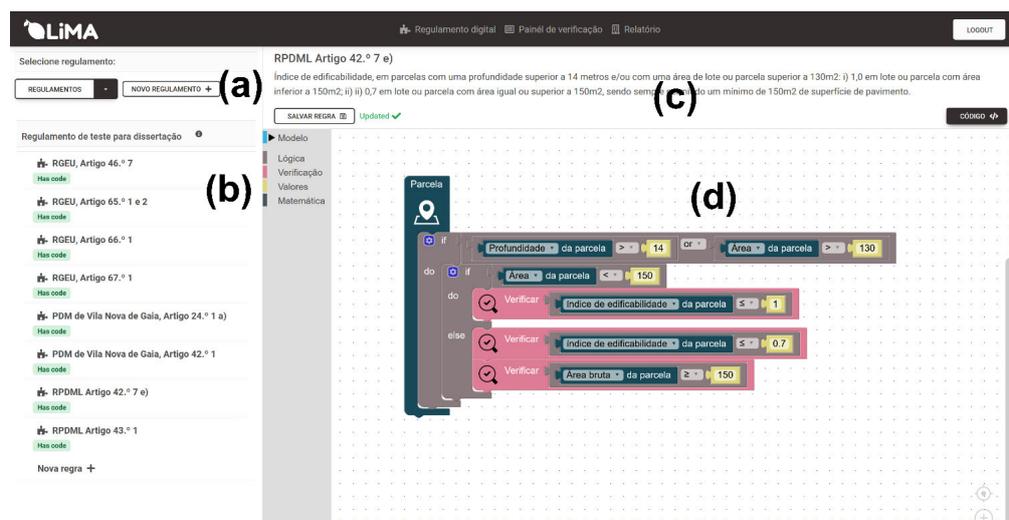
O desenvolvimento do protótipo de plataforma web foi largamente suportado pela utilização de *frameworks* de código aberto, que permitiram criar uma plataforma dinâmica, capaz de integrar os componentes de visualização de modelos IFC e criação de regulamentos digitais de forma modular. Assim sendo, o desenvolvimento da plataforma pôde ser dividido em duas principais tarefas: (i) desenvolvimento dos serviços a nível do servidor; (ii) desenvolvimento dos serviços a nível do navegador web.

Ao nível do servidor ocorreu o desenvolvimento da base de dados, da criação de métodos para executar verificações e da API para permitir o fluxo de informações com os serviços executados no navegador. Neste nível ocorre o armazenamento dos regulamentos interpretáveis por máquina e a sua execução, por métodos apropriados que avaliam as regras criadas em linguagem Python que remetem ao modelo de entidades. Desta forma, foi crucial desenvolver uma base de dados que estivesse adequada à representação dos regulamentos e às suas regras. Além disso, a API desenvolvida permite transferir os regulamentos entre o servidor e o navegador através do formato JSON, que integra os códigos Python representativos das regras, quando necessário.

Ao nível do navegador, foram desenvolvidos componentes para a criação e edição dos regulamentos, assim como para a execução de verificações e visualização de resultados. A criação de regulamentos envolve a inserção de informações básicas sobre o regulamento que se pretende desenvolver e a posterior criação e codificação de regras com os blocos de programação visual. Também foi necessário permitir a associação a referências e os textos originais das cláusulas dos regulamentos. A página para a criação e edição de regulamentos pode ser visualizada na Figura 5. Como é possível observar, a codificação dos regulamentos digitais tornar-se bastante simples.

Figura 5

Página de criação de regulamentos: (a) seletor de regulamentos; (b) lista de regras; (c) texto original da cláusula; (d) editor de regras de verificação.



Já a verificação envolve o carregamento do ficheiro IFC que se pretende avaliar e a seleção dos regulamentos que se pretende verificar. Posteriormente, é possível enviar a requisição para execução da verificação, que remete as informações do ficheiro e avalia consoante as regras codificadas dos regulamentos, apresentando uma série de resultados para cada uma das regras avaliadas. Houve também a tentativa de se desenvolver métodos de visualização (Figura 6) que permitissem verificar o modelo consoante o resultado da verificação, que apesar de ter potencial, evidenciou que é necessário estabelecer métodos que tenham representações adequadas ao tipo de verificação executado.

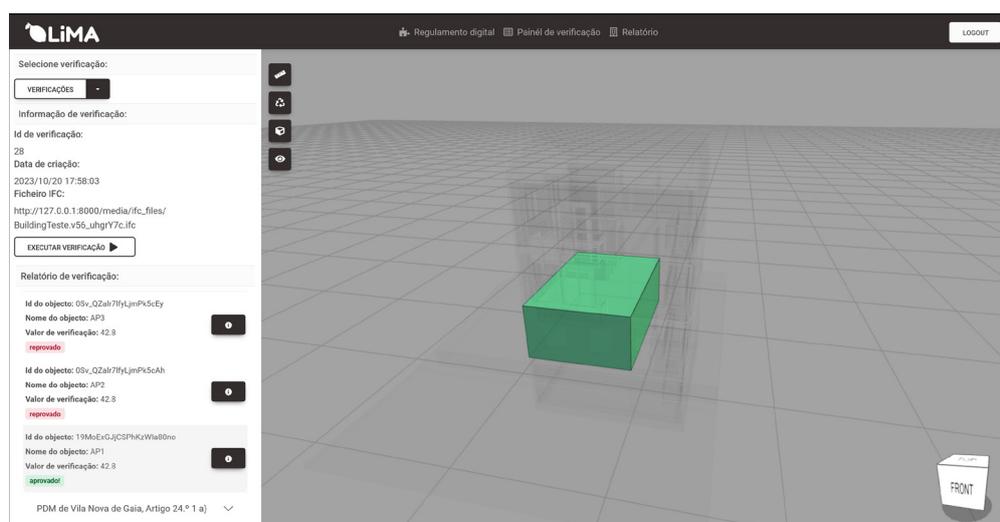


Figura 6
Relatório de verificação
assistido por
visualizador.

4. Conclusão

Neste trabalho é apresentado um protótipo de plataforma web para a criação de regulamentos digitais que permite codificar os requisitos do quadro regulamentar através de uma linguagem de programação visual baseada em blocos. Através da implementação e análise de alguns regulamentos foi possível verificar a viabilidade e avaliar diversos desafios da implementação de sistemas para a criação de regulamentos digitais e de sistemas para a automatização da verificação de conformidades no âmbito do licenciamento urbanístico.

Foi possível concluir que é exequível automatizar parcialmente a verificação de conformidades das operações urbanísticas em função dos requisitos presentes no quadro regulamentar. Além disso, a utilização de um modelo de entidades que permita trabalhar com conceitos do licenciamento ao invés de trabalhar com o modelo IFC diretamente é uma boa estratégia. Neste caso, o modelo foi implementado através duma série de classes em Python, contudo outros recursos podem ser utilizados, tais como o recurso a ontologias do ambiente construído.

Devido às subjetividades, ambiguidades e omissões das cláusulas dos regulamentos, a interpretação dos regulamentos é uma atividade que requer a consulta a especialistas do licenciamento para a correta obtenção das entidades.

A utilização de processamento de informação geométrica do modelo IFC para alimentar o modelo conceptual é uma estratégia que permite resolver alguns problemas de entidades complexas do ponto de vista geométrico e possibilita a redução dos requisitos de modelação. No entanto, outras estratégias devem ser utilizadas em conjunto, como a obtenção de propriedades de objetos e sistemas de classificação.

A linguagem de programação visual permite a criação e edição de regulamentos digitais de forma acessível, o que facilita a utilização por técnicos do licenciamento e tornam a solução muito mais escalável.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade de P & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. Este trabalho foi também financiado pela bolsa de doutoramento (BI-ISISE-UMINHO-CHEK-B03) atribuída ao primeiro autor, financiada pelo Programa de Investigação e Inovação Horizonte Europa 2021-2027, no âmbito do projeto Change Toolkit for Digital Building Permit CHEK, com referência 101058559. Agradeço também aos demais parceiros do projeto CHEK, ao nível da Câmara Municipal de Gaia (Carla Malta Pires, Ana Patrícia Baptista e Marco Lima de Carvalho), da Câmara Municipal de Lisboa (André Espinho e João Frescata Pereira) e da Universidade Lusófona (Ricardo Mateus).

Referências

- [1] J. B. Pedro, F. Meijer, e H. Visscher, «Comparison of building permit procedures in European in European Union countries Cova da Moura Rehabilitation Needs Assessment View project Building Regulations for Construction Works in Existing Buildings View project Comparison of building permit procedures in European Union countries», 2011. [Em linha]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/257527312>
- [2] J. Branco Pedro, F. M. Meijer, e H. J. Visscher, «The Portuguese Building Regulation System: A Critical Review», 2009, Acedido: 7 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <http://repositorio.lnec.pt:8080/xmlui/handle/123456789/16726>
- [3] «Regime jurídico da urbanização e edificação – RJUE | DRE». Acedido: 29 de maio de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://dre.pt/dre/legislacao-consolidada/decreto-lei/1999-34567875>

- [4] F. Noardo *et al.*, «Unveiling the actual progress of Digital Building Permit: getting awareness through a critical state of the art review», 2021. [Em linha]. Disponível em: <https://www.bimacademy.global/insights/infrastructure/the-golden-thread-of-information-putting-the-hacki>
- [5] C. Preidel e A. Borrmann, «Automated code compliance checking based on a visual language and building information modeling», *32nd Int. Symp. Autom. Robot. Constr. Min. Connect. Future Proc.*, 2015, doi: 10.22260/ISARC2015/0033.
- [6] E. Hjelseth, «Public BIM-based model checking solutions: lessons learned from Singapore and Norway», em *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, WIT Press, set. 2015, pp. 421-436. doi: 10.2495/bim150351.
- [7] I. Kim, J. Choi, E. A. L. Teo, e H. Sun, «Development of kbim e-submission prototypical system for the openbim-based building permit framework», *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 26, n.º 8, pp. 744-756, nov. 2020, doi: 10.3846/jcem.2020.13756.
- [8] N. O. Nawari, «A Generalized Adaptive Framework (GAF) for automating code compliance checking», *Buildings*, vol. 9, n.º 4, abr. 2019, doi: 10.3390/buildings9040086.
- [9] J. Zhang e N. M. El-Gohary, «Extending Building Information Models Semiautomatically Using Semantic Natural Language Processing Techniques», *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 30, n.º 5, p. C4016004, set. 2016, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000536.
- [10] E. Hjelseth e N. N. Nisbet, «Capturing normative constraints by use of the semantic mark-up RASE methodology», 2011. Acedido: 22 de fevereiro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Capturing-normative-constraints-by-use-of-the-RASE-Hjelseth-Nisbet/8820d782f37a3bccc5922dc5e6ee1b344a027828>
- [11] M. F. de S. Santos, «Metodologias BIM para verificação regulamentar em contexto de licenciamento municipal: proposta, implementação e aplicação», masterThesis, 2021. Acedido: 14 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/76900>
- [12] J. K. Lee, «Building environment rule and analysis (BERA) language and its application for evaluating building circulation and spatial program», Georgia Institute of Technology, 2011. Acedido: 3 de março de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/39482>
- [13] J. Dimyadi, «Integrating the BIM Rule Language into Compliant Design Audit Processes», 2016.

- [14] A. Yurchyshyna e A. Zarli, «An ontology-based approach for formalisation and semantic organisation of conformance requirements in construction», *Autom. Constr.*, vol. 18, n.º 8, pp. 1084-1098, dez. 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2009.07.008.
- [15] H. Kim, J. K. Lee, J. Shin, e J. Choi, «Visual language approach to representing KBimCode-based Korea building code sentences for automated rule checking», *J. Comput. Des. Eng.*, vol. 6, n.º 2, pp. 143-148, abr. 2019, doi: 10.1016/J.JCDE.2018.08.002.
- [16] A. Wülfing, R. Windisch, e R. Scherer, «A visual BIM query language», em *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, A. Mahdavi, B. Martens, e R. Scherer, Eds., CRC Press, ago. 2014, pp. 157-164. doi: 10.1201/b17396-30.

Interoperabilidade BIM-FM: Desenvolvimento de interface customizada para visualização IFC integrada a plataforma de gestão

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.14>

**Andressa Oliveira¹, José Granja²,
Pedro Machado³, Ali Motamedi⁴,
Torcato Almeida⁵, Miguel Azenha⁶**

¹ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212

² Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990

³ Câmara Municipal de Matosinhos, Matosinhos, Portugal

⁴ École de Technologie Supérieure, Montreal, Canadá, ORCID 0000-0002-7012-440X

⁵ Instituto CCG/ZGDV, Guimarães, Portugal, ORCID 0009-0001-3083-6496

⁶ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil,
Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo

A adoção do Building Information Modelling (BIM) na fase operacional de edifícios ainda é restrita. Um dos fatores que dificultam a adoção da metodologia é a falta da implementação de capacidades BIM às plataformas de Facility Management (FM), tais como a visualização tridimensional dos edifícios a gerir. O presente artigo apresenta uma solução concebida em colaboração com a Câmara Municipal de Matosinhos, em Portugal, para viabilizar a gestão dos seus ativos através da metodologia BIM. O propósito da solução é integrar a atual plataforma de gestão utilizada pela câmara (Infraspeak) a recursos de visualização tridimensional, e permitir a consulta e manipulação de dados de operação de forma direta e integrada a esta visualização. Para a visualização dos ativos foi considerada a utilização de modelos de informação (modelos BIM) que sigam o esquema IFC (Industry Foundation Classes). Neste contexto, uma plataforma web integrada e personalizada foi desenvolvida com recurso à biblioteca IFCjs para manipular, investigar e visualizar ficheiros IFC. Além disso, a plataforma permite a conexão direta à base de dados do Infraspeak através da sua

Application Programming Interface (API). No presente artigo o processo de desenvolvimento da plataforma de integração é detalhado, junto aos seus componentes-chave e a sua interoperabilidade com a Infraspak. A solução desenvolvida é uma abordagem inovadora às limitações atuais na gestão de operação e dá suporte à adoção mais ampla do BIM para a área do FM.

1. Introdução

A fase operacional de um ativo construído representa a maior parte de seu ciclo de vida, e totaliza aproximadamente 60% dos gastos associados ao mesmo [1]. O *Facility Management* (FM) é a disciplina responsável pela funcionalidade conforto e segurança das instalações do ambiente construído [2], sendo um dos setores com mais rápido crescimento da indústria da construção [3]. Com a industrialização deste sector [4], gestores de ativos têm aumentado seu interesse na implementação da metodologia BIM como suporte a gestão de operações [3]. Esta metodologia de gestão integrada da informação pode trazer inúmeras vantagens a um setor que precisa lidar com uma grande quantidade e variedade de dados oriundos de diversas fontes [5]. Devido a variedade e complexidade dos ativos que os edifícios públicos e/ou edifícios de grandes dimensões podem apresentar [3], a implementação da metodologia BIM pode trazer grandes benefícios no suporte aos gestores de operação que procuram melhorar a eficiência dos processos de FM destes tipos de edifícios. Apesar das diversas vantagens encontradas na literatura, ainda existe uma resistência à adoção do BIM para operação de ativos [6], e os gestores estão diante de um património construído que já está em fase operacional mas ainda não é gerido, na sua maioria, com o suporte da metodologia BIM. O cenário atual mostra que a utilização de plataformas de gestão que auxiliam na operação do património construído, tais como *Computerized Maintenance Management System* (CMMS), *Computer Aided Facility Management* (CAFM) e *Intelligent Maintenance Management Platform* (IMMP), já está difundida [4], [5]. Entretanto, os modelos de gestão atuais não estão preparados para uma adoção rápida do BIM por se basearem fortemente em métodos tradicionais, tais como a utilização de documentos físicos, mesmo quando utilizadas plataformas computadorizadas [5].

Para uma adoção mais ampla e eficiente do BIM no setor operacional é necessário difundir o conhecimento quanto aos processos de gestão da informação da metodologia, seguindo as diretrizes da ISO 19650-3 [7], e adaptando assim os modelos de gestão para que estes possam lidar com as tecnologias emergentes [6]. Esta atualização do modelo de gestão inclui, para além de processos, a utilização de plataformas capazes de integrar bases de dados diversas, inclusive modelos de informação [1]. Os modelos de informação são, na metodologia BIM, a principal fonte de informação relativa a um ativo e podem incluir, entre outros, blocos de informação contendo a representação geométrica tridimensional do ativo [8]. Neste âmbito, os modelos de informação devem ser preparados de forma a serem capazes de integrar-se às plataformas de gestão utilizadas pelos gestores de operação. Deste contexto emerge a necessidade de dar suporte à implementação da metodologia BIM em processos de gestão de operação, com foco em integração entre diferentes fontes de dados. Estudos nesta área podem impactar a adoção do BIM na fase operacional de ativos, principalmente no setor público.

Deste cenário emergiu uma parceria entre a Câmara Municipal da cidade de Matosinhos (CMMatosinhos), em Portugal, e a Universidade do Minho (UMinho). A finalidade desta parceria é o suporte à gestão e operação de ativos municipais a partir da

integração da metodologia BIM à plataforma de gestão já utilizada pela CMMatosinhos, a Infraspak. Esta plataforma é uma IMMP e permite que os utilizadores interajam com uma interface web para aceder suas funcionalidades, mas não permite a visualização dos edifícios e ativos geridos. A IMMP também permite acesso às suas funcionalidades através de uma *Application Programming Interface* (API). Portanto, o objetivo final deste trabalho é o desenvolvimento de uma plataforma web capaz de integrar a base de dados da IMMP com a visualização tridimensional dos ativos a serem geridos, permitindo a consulta, edição e inserção de informação associada a estes ativos. A partir dos desenvolvimentos desta parceria, a área de gestão e operação da CMMatosinhos poderá adicionar a informação geométrica ao processo de tomada de decisão (e.g, com a distribuição visual de espaços/equipamentos com necessidade de ações de manutenção dentro de um edifício, será possível definir rotas de ação mais eficientes). A plataforma de integração a ser desenvolvida precisa permitir a comunicação entre duas bases de dados distintas: a base de dados da IMMP, que contém informação necessária para operação dos ativos; e o bloco de informação que contém a geometria dos edifícios e ativos a gerir. Com o objetivo de simplificação, o bloco de informação com visualização tridimensional será chamado de modelo em todo o texto deste artigo.

A primeira etapa do desenvolvimento deste estudo (secção 2) incluiu a definição dos objetivos da CMMatosinhos e as funcionalidades da plataforma de integração a ser desenvolvida. Após a definição dos requisitos funcionais, foi possível estabelecer os processos de interação entre as diferentes bases de dados (secção 3.1) e definir os requisitos de troca de informação (EIR) para guiar o desenvolvimento dos modelos que serão acedidos a partir da plataforma desenvolvida (secção 3.2). O EIR foi desenvolvido de maneira simplificada e recorreu-se à metodologia do nível de informação necessário [9] para definição dos requisitos. Posteriormente, a plataforma de integração foi implementada, com realização de testes e a utilização de um modelo exemplo (protótipo) desenvolvido a partir dos requisitos definidos anteriormente (secção 3.3). Por fim, as conclusões e discussões relevantes à pesquisa desenvolvida foram destrinchadas na secção 4.

2. Requisitos funcionais e metodologia

A parceria estabelecida requer o desenvolvimento de uma plataforma capaz de integrar a IMMP utilizada pela CMMatosinhos com a capacidade de visualização e manipulação dos modelos tridimensionais de edifícios a gerir. Pretende-se a definição de requisitos de informação (EIR) que guiem o desenvolvimento de modelos a serem utilizados dentro desta plataforma, considerando os edifícios já em fase operacional (R.1 Figura 1), bem como aqueles ainda a construir (R.2 Figura 1). A plataforma deve abranger dois diferentes perfis de utilizadores (gestor e comum). O utilizador do tipo gestor deve ser capaz de cadastrar edifícios na plataforma (G.1 Figura 1) e aceder a informação de edifícios já cadastrados (G.2 Figura 1). O utilizador comum, por sua vez, pode ter acesso a edifícios já cadastrados (C.1 Figura 1). Visto o artigo ter sido desenvolvido antes da finalização da parceria, estão aqui abrangidos apenas os

desenvolvimentos referentes a interação com edifícios já cadastrados a partir do perfil gestor (G.2 Figura 1) e os requisitos de informação relativos a edifícios existentes (R.1 Figura 1), representados em cinza na Figura 1.

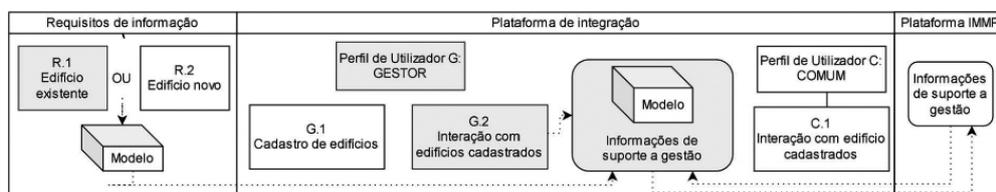


Figura 1
Propósitos gerais do projeto.

Considerando o acesso a edifícios existentes e já cadastrados, a partir do perfil de utilizador gestor, os objetivos do utilizador final foram listados a partir de uma série de reuniões com o chefe de divisão de edifícios municipais da Câmara Municipal de Matosinhos (utilizador final). A partir destas reuniões foram definidos seis objetivos principais, posteriormente reescritos como funcionalidades a serem implementadas na plataforma a desenvolver (Tabela 1). Com a definição clara das funcionalidades da plataforma, foi definido que esta será composta por duas diferentes páginas web: seleção de edifício e área de gestão. A ISO19650-3 [7], para operação de ativos, prevê que o desenvolvimento do EIR seja derivado de requisitos organizacionais (OIR) e de operação (AIR). OIR e AIR não foram desenvolvidos para este trabalho, e os objetivos definidos na Tabela 1 serviram como premissas ao desenvolvimento do EIR simplificado.

Tabela 1: Objetivos do utilizador e funcionalidades da plataforma

Objetivos do utilizador	Funcionalidades da plataforma
Interação com a plataforma a partir de um edifício específico	Listagem de edifícios para seleção
Visualização tridimensional dos edifícios e capacidade de manipulação desta visualização	Visualização do edifício completo, ou por piso, ou apenas elementos com pedidos em aberto. Capacidade de seleção de ativos a partir do modelo tridimensional
Acesso a informação do edifício	Visualização de informações de identificação do edifício completo Visualização de número total de pedidos em aberto daquele edifício
Acesso a informação dos ativos	Visualização de informações de identificação do ativo mediante seleção Visualização de número total de pedidos em aberto associados ao ativo Redirecionamento à página do ativo dentro da plataforma <i>Infraspeak</i>
Edição de informação dos ativos	Criar pedido associado a um determinado elemento

O desenvolvimento da plataforma web pode ser dividido em dois componentes, *frontend* e *backend*. Para o *frontend*, foram utilizadas as linguagens HTML, CSS e JavaScript. Dentre as funcionalidades da plataforma, aquelas relacionadas a visualização e leitura do modelo foram desenvolvidas com o suporte da biblioteca de código aberto IFCjs. A utilização desta biblioteca permite a criação de visualizadores

customizados e interativos, que incluem a visualização do edifício completo ou de subconjuntos do mesmo, bem como a seleção de elementos específicos dentro do modelo. Além disso, a biblioteca permite aceder propriedades de elementos e extrair informações a partir delas. Por sua vez, o *backend* foi desenvolvido em linguagem Python, com o *web framework* Flask. O modelo do edifício protótipo foi desenvolvido na plataforma Autodesk Revit 2023 e seguiu os requisitos de informação definidos previamente. Este modelo foi posteriormente exportado seguindo o esquema IFC (IFC4 ADD2 TC1) [10].

3. Implementação

Para o desenvolvimento deste trabalho consideram-se duas fontes de dados principais que precisam se integrar a através da plataforma: a base de dados da plataforma IMMP e o modelo. Os modelos IFC já cadastrados, por sua vez, estariam hospedados em uma segunda base de dados chamada aqui de “base de dados CMMatosinhos”. Dentro das bases de dados, e considerando as funcionalidades a implementar (Tabela 1), três tipos de elementos são essenciais aos objetivos da plataforma: locais, equipamentos e pedidos. O primeiro tipo de elemento representa ativos espaciais, sendo os locais (ou espaços) que compõem os edifícios geridos pela CMMatosinhos, essenciais a localização espacial dos equipamentos. Os equipamentos, por sua vez, representam todo e qualquer ativo físico que faça parte do inventário da CMMatosinhos (veículos, cadeiras, escadas, etc). Por fim, os pedidos representam a requisição de uma ação de operação a ser realizada, e estão associados aos outros tipos de elementos (equipamento e local). A Figura 2 permite visualizar o fluxo de informações que transitam entre as diferentes bases de dados, seus elementos, e os componentes da plataforma (*frontend* e *backend*). Os componentes principais do fluxo de informação da Figura 2 são os identificadores IMMP e identificadores CMMatosinhos. Os identificadores são chaves únicas de identificação dos elementos dentro da base de dados IMMP e do inventário da CMMatosinhos, respetivamente. Estes identificadores funcionam como a chave de interação capaz de associar o mesmo ativo a partir das diferentes fontes (IMMP e inventário CMMatosinhos). O processo de implementação da plataforma web está descrito a seguir, incluindo a definição dos identificadores referentes a base de dados IMMP, identificadores de ativos dentro do inventário da CMMatosinhos, desenvolvimento dos requisitos de informação para modelos de edifícios existentes e outros aspetos do desenvolvimento da plataforma.

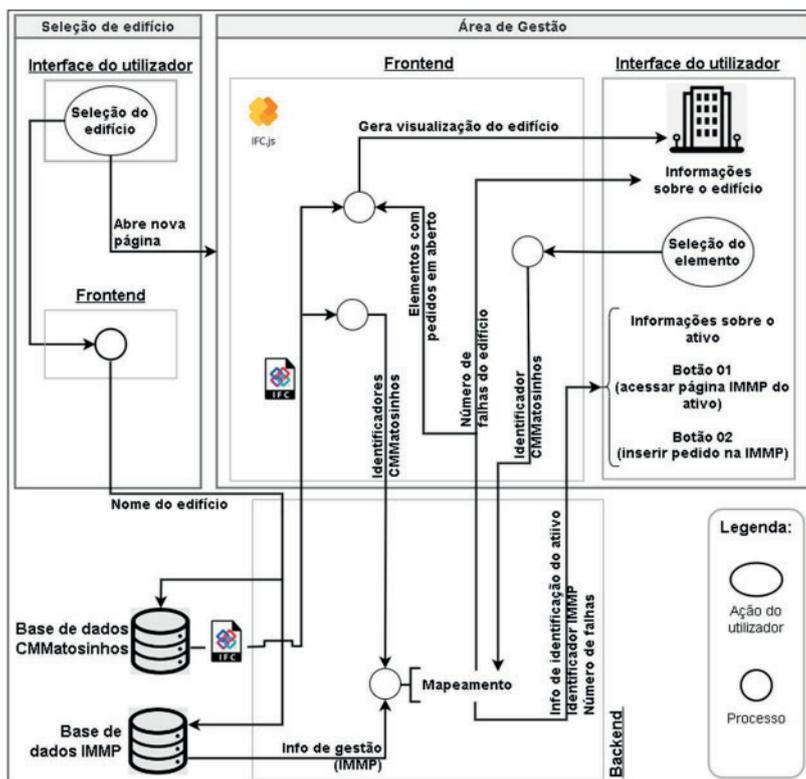


Figura 2
Fluxo de informação na plataforma web (perfil gestor para edifício cadastrado).

3.1. Definição de identificadores únicos

A definição dos identificadores únicos se deu a partir da análise da base de dados IMMP. Primeiramente, foram definidos os identificadores IMMP, contendo chave capazes de identificar unicamente um elemento dentro desta base de dados. Para os identificadores CMMatosinhos a análise foi feita a partir da base de dados IMMP, mas agora para encontrar atributos contendo informações relativas a identificação dos ativos a partir da organização do gestor. A Figura 3 apresenta a estrutura dos ativos dentro da base de dados IMMP, incluindo os endpoints para acesso a informação mostrada, attributes relevantes ao desenvolvimento da plataforma, relação entre attributes de diferentes elementos e identificadores únicos.

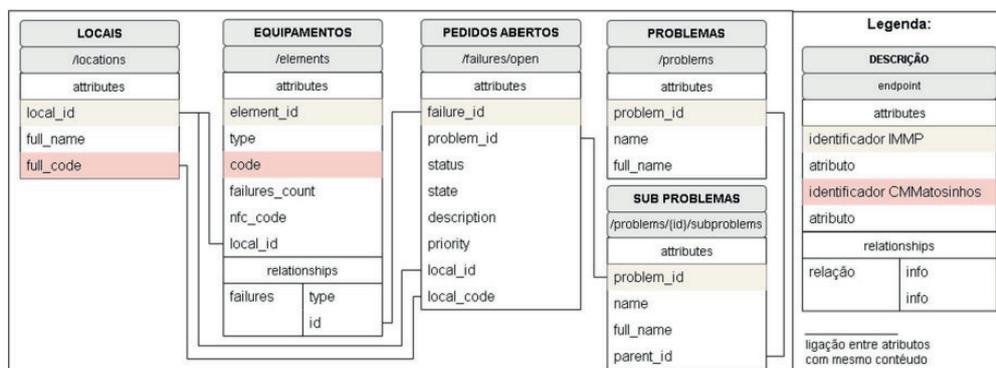


Figura 3
Elementos, relações e endpoints na base de dados da IMMP.

- Identificador IMMP

Dentro da base de dados da IMMP, os locais se organizam de forma hierárquica e apresentam o atributo *“local_id”* como identificador único. Em contrapartida, os ativos cadastrados (ELEMENT), estão classificados em duas categorias, EQUIPMENT e LOCAL. Neste caso, os locais compreendidos como elementos são aqueles do mais baixo nível da hierarquia cadastrada e equivalem a espaços individuais (sala, balneário, ...). Todos os elementos são identificados unicamente a partir do atributo *“element_id”*. A numeração contida nestes atributos (*“local_id”* e *“element_id”*) é gerada automaticamente pela IMMP, e não corresponde ao inventário da CMMatosinhos. Portanto, os atributos *“local_id”* e *“element_id”* são considerados os identificadores IMMP para locais e equipamento, respetivamente. Por fim, ao analisarmos os elementos de tipo pedido, nomeados como *failure* dentro da base de dados IMMP, focou-se naqueles considerados “em aberto”, e.g. que ainda requerem qualquer tipo de ação. Por não se tratar de um ativo físico, para além dos atributos do próprio elemento, foi também analisada sua relação com equipamentos e locais. Os pedidos estão identificados de forma única a partir do atributo *“failure_id”* (identificador IMMP), e contém o atributo *“local_id”* capaz de identificar o local ao qual o pedido está associado. Em contrapartida, a informação quanto a sua associação com um equipamento só consegue ser acedida a partir das *relationships* dos elementos de tipo equipamento, onde as numerações *“failure_id”* podem ser visualizadas.

- Identificador CMMatosinhos

Os pedidos não têm identificador CMMatosinhos visto não representarem ativos físicos. Quanto aos locais, o valor do atributo *“full_code”* representa a nomenclatura utilizada pela CMMatosinhos para identificar os espaços hierarquicamente, e representa um código único a cada local. Considerando os equipamentos, o valor do atributo *“nfc_code”* foi selecionado como potencial identificador único. Entretanto, nem todos os equipamentos contém códigos NFC associados, o que implica que ele não poderia ser utilizado como a chave de identificação para este tipo de ativo. Em uma segunda análise, optou-se por utilizar o atributo *“code”* para este fim. Dentro da organização de inventário da CMMatosinhos, o valor deste atributo é preenchido a partir de codificação específica ao tipo de equipamento (cadeira, veículo, etc.). Entretanto, foi esclarecido pelo utilizador final que esta codificação poderia não ser única para alguns tipos específicos de equipamentos. Por fim, concluiu-se que caso equipamentos apresentassem o mesmo *“code”*, estes nunca estariam dentro do mesmo espaço. Portanto, a combinação dos atributos *“code”* do ativo equipamento e *“full_code”* do local em que ele está associado dentro do modelo, foi definida como identificador CMMatosinhos dos equipamentos. Por fim, utilizando a metodologia do nível de informação necessário (secção 3.2), estes identificadores foram organizados como propriedades que devem ser associadas aos elementos do modelo. Na Tabela 2 o termo “Código” foi utilizado para representar estes identificadores.

3.2. Nível de informação necessário

Para definição do nível de informação necessário, foi considerado que o modelo deveria permitir a visualização do edifício e ativos a gerir, e conter apenas a informação alfanumérica referente a informação geral do ativo e aquela necessária para integração com a base de dados da IMMP (identificadores CMMatosinhos). Quanto aos elementos a serem modelados (Tabela 2), definiu-se três principais grupos de objetos: arquitetura, equipamentos e locais.

Tabela 2: Nível de informação necessário para arquitetura, equipamentos e locais

Objetos:	Arquitetura	Equipamentos	Locais
Classe IFC:	Variável*	Variável*	IfcSpace
Informação Geométrica			
Detalhe	Elemento deve ser representado com o contorno real de seus limites externos. O objeto deve ser um elemento único, sem camadas ou componentes.	Elemento deve ser representado com o contorno simplificado, e com volumes e dimensões reais. O objeto deve ser um elemento único, sem camadas ou componentes.	Elemento deve ser representado com seu volume real.
Dimensionalidade	3D		
Localização	Relativa aos elementos a volta		
Aparência	Cor semelhante a real, sem texturas.	Cor semelhante a real, sem texturas.	Não visível.
Informação Alfanumérica			
Atributos			
	Nome do atributo	Conteúdo	
	LongName	X	X Nome
Propriedades			
Grupo	Nome da propriedade	Conteúdo	
CMMatosinhos_ Identification	Codigo_CMMatosinhos	X	Código X
	Local_CMMatosinhos	X	X Código
	Categoria_CMMatosinhos	X	Categoria X
	Tipo_CMMatosinhos	X	Descrição Categoria X
Legenda	Variável* As classes IFC variam a depender do elemento arquitetónico ou equipamento em questão.		
	X Objetos deste tipo não devem conter esta propriedade ou atributo.		

Neste caso, a arquitetura serviria ao propósito de visualização e apenas os aspetos de informação geométrica do nível de informação necessário foram requeridos para este grupo. Dos três tipos de elementos analisados na subsecção anterior, excluiu-se os pedidos visto sua visualização não ser requerida. Para locais e equipamentos, requisitos de informação geométrica e alfanumérica foram definidos. Quanto ao edifício como um todo (Tabela 3), visto sua geometria já estar contemplada pelos objetos anteriores, apenas requisitos de informação alfanumérica foram definidos. Os aspetos não aplicáveis não são apresentados nas tabelas.

Tabela 3: Nível de informação necessário para o edifício

Objeto:		Edifício
Classe IFC:		IfcBuilding
Informação Alfanumérica		
Atributos		
	Nome do atributo	Conteúdo
	LongName	Nome
Propriedades		
Grupo	Nome da propriedade	Conteúdo
CMMatosinhos_Identification	Local_CMMatosinhos	Código

3.3. Desenvolvimento da plataforma

O desenvolvimento da plataforma, os testes realizados e as reuniões com o utilizador final aconteceram de forma iterativa e as capacidades da plataforma foram expandidas gradativamente. Durante o desenvolvimento foi possível identificar as limitações da API do IMMP e aprimorar os processos de troca de informação. Uma das otimizações implementadas foi o mapeamento entre todos os objetos do modelo (equipamentos ou locais) e seus respetivos pedidos em aberto (*failures* em aberto) (visível na Figura 2 em *backend*). Este mapeamento foi programado para ocorrer de forma automatizada logo quando da seleção do edifício, e gera a associação direta entre os identificadores únicos dos elementos (*element_id* e *local_id*) com os *failures_id* associados. Este mapeamento também inclui informações como grau de prioridades e *status* do pedido (*failure*). A decisão deu-se por considerar que estas informações precisam ser rapidamente visualizadas pelo utilizador e atualizadas quando este transita entre elementos selecionados, o que acaba por aperfeiçoar a experiência do utilizador final.

A Figura 3 mostra o visual da plataforma de integração acessível pelo utilizador final. O *screenshot* é relativo a área de gestão, com a habilitação da visualização por piso e após a seleção de um elemento. A área de gestão inclui uma secção superior (Figura 4 a) com dados relativos a identificação do edifício e a possibilidade de edição do modo de visualização: se por piso ou edifício completo, se todos os elementos ou apenas aqueles apresentando pedidos em aberto. A secção ao lado (Figura 4 b) apresenta um aviso relativo a presença e quantidade de pedidos em aberto associados ao edifício. O menu lateral (Figura 4 c), relaciona-se às informações dos ativos e é inserido à interface do utilizador quando há a seleção de um equipamento ou local. Neste menu é possível visualizar informações de identificação do ativo selecionado, o número de pedidos em aberto associados ao ativo, aceder aos botões de redirecionamento à página do ativo dentro da IMMP e de criação de pedidos associados diretamente ao ativo e que ficam, automaticamente, registados dentro da plataforma IMMP.

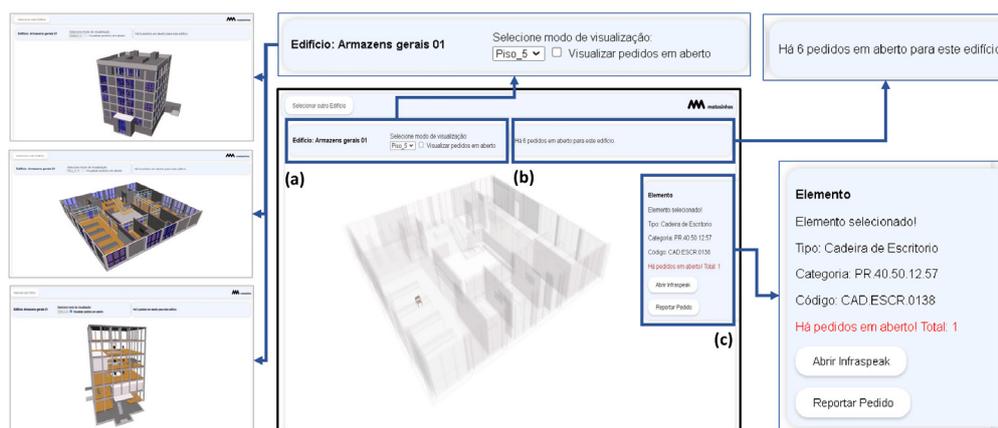


Figura 4
Plataforma de integração – modo de visualização (a), pedidos em aberto do edifício (b) e informação sobre elemento selecionado (c).

4. Discussão e conclusão

O presente trabalho dá suporte a implementação da metodologia BIM no contexto da gestão de operações, especificamente no âmbito da integração da metodologia a plataformas de gestão existentes. Durante o desenvolvimento foram encontrados desafios ainda não previstos. Nomeadamente quanto a definição de identificadores únicos dentro do inventário da CMMatosinhos, a codificação utilizada para a organização de seu inventário não era funcional para a integração com outros bancos de dados. Isto porque a codificação existente não identificava exclusivamente um único ativo, o que ocasionou na necessidade de identificar elementos a partir da combinação de dois códigos (*element_id* e *local_id*). O processo iterativo utilizado, com reuniões periódicas com a CMMatosinhos, permitiu que estas e outras limitações fossem contornadas. Ao longo do processo algumas otimizações foram necessárias para melhorar a experiência do utilizador ao interagir com a plataforma. Por exemplo, o mapeamento automatizado entre elementos e pedidos impactou o produto final ao diminuir o tempo de espera do utilizador para atualização de informações. É necessário destacar que a biblioteca IFCjs e sua grande capacidade de customização são de grande suporte ao desenvolvimento de plataformas web no contexto do uso da metodologia BIM. Através da biblioteca, a plataforma desenvolvida pode ser customizada aos objetivos do utilizador final. No contexto deste trabalho as mudanças de visualizações (edifício, piso e elementos com pedidos abertos) puderam ser implementadas, bem como foi possível investigar o modelo para extrair informações necessárias ao funcionamento da plataforma de integração. Por fim, o trabalho desenvolvido avança o conhecimento da implementação do BIM para a operação de edifícios ao mostrar um caso real em que a metodologia pode ser aplicada a um sistema de gestão existente através da integração do modelo de informação a uma plataforma de gestão já utilizada pelo gestor de operações. O processo de tomada de decisão apresentado pode servir a implementação de outros processos de integração a serem desenvolvidos no setor da operação de edifícios.

5. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade de P&D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. Este trabalho foi também financiado pela bolsa de doutoramento (PRT/BD/154416/2023) atribuída ao primeiro autor pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), no âmbito do Programa MIT Portugal.

Referências

- [1] M. Al-Kasasbeh, O. Abudayyeh, and H. Liu, "An integrated decision support system for building asset management based on BIM and Work Breakdown Structure," *J. Build. Eng.*, vol. 34, no. November 2020, p. 101959, 2021, doi: 10.1016/j.job.2020.101959.
- [2] International Facility Management Association, "What is Facility Management," 2023. <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/> (accessed Dec. 19, 2023).
- [3] L. Pinti, R. Codinhoto, and S. Bonelli, "A Review of Building Information Modelling (BIM) for Facility Management (FM): Implementation in Public Organisations," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 3. 2022, doi: 10.3390/app12031540.
- [4] M. Marocco and I. Garofolo, "Integrating disruptive technologies with facilities management: A literature review and future research directions," *Autom. Constr.*, vol. 131, p. 103917, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.AUTCON.2021.103917.
- [5] S. Siccardi and V. Villa, "Trends in Adopting BIM, IoT and DT for Facility Management: A Scientometric Analysis and Keyword Co-Occurrence Network Review," *Buildings*, vol. 13, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/buildings13010015.
- [6] S. Durdyev, M. Ashour, S. Connelly, and A. Mahdiyar, "Barriers to the implementation of Building Information Modelling (BIM) for facility management," *J. Build. Eng.*, vol. 46, p. 103736, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103736.
- [7] International Organization for Standardization [ISO], "ISO 19650-3. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 3: Operational phase of the assets." 2020.
- [8] International Organization for Standardization [ISO], "ISO 19650-1. 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.
- [9] European Committee for Standardization, "EN 17412-1. Building Information Modelling. Level of Information Need. Concepts and principles." 2020.
- [10] buildingSMART, "IFC Specifications Database," 2023. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/> (accessed Dec. 15, 2023).

Orçamentação e estimativa de custos com modelos OpenBIM: Automatização de processos para edifícios

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.15>

**Andrea Roldán¹, José Granja²,
Ricardo Figueira³, Paula Assis³**

¹ *University of Minho, ISISE, ARISE,
Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal*

² *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering,
Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990*

³ *Top Informática, Braga, Portugal*

Resumo

O levantamento de quantidades e a estimativa de custos é uma etapa importante no ciclo de vida de um edifício, uma vez que permite estabelecer um orçamento para a sua construção através da medição e quantificação dos elementos necessários. Seguir um cálculo de quantidades baseado em BIM conduz a um procedimento mais automatizado permitindo uma abordagem mais precisa, eficiente e colaborativa. Infelizmente, este processo pode ser afetado por vários problemas: inconsistência na informação, incompatibilidade de software, informação incompleta ou em excesso no modelo. Este estudo propõe uma solução para estes problemas através da criação de um novo fluxo de trabalho definido por um processo de modelação regido por regras, utilizando uma WBS (Work Breakdown Structure) como peça central do procedimento de modelação. Para evitar *data silos* e visar a interoperabilidade entre as partes interessadas, foi decidido seguir uma abordagem OpenBIM, utilizando um ficheiro IFC como principal fonte de informação para gerar a estimativa de custos do projeto. Através de um conjunto de regras de modelação, que garantem a coerência da informação, o processo assegura uma extração precisa das quantidades. Este procedimento foi aplicado a um caso de projeto de arquitetura para determinar uma abordagem de modelação adequada, seguido do estabelecimento, por elemento, do nível de informação necessário para obter a quantificação final. Assim, o processo que se apresenta neste trabalho permitiu definir o nível de informação necessário para a extração de quantidades, incluindo a verificação da informação geométrica e alfanumérica, garantindo a qualidade do IFC, a qual permite uma estimativa correta dos custos do projeto.

1. Extração de quantidades e estimativa de custos

A extração de quantidades (QTO) e a estimativa de custos (CE) são partes importantes do ciclo de vida de um projeto. Estes processos necessitam de precisão e rapidez para uma gestão eficaz do projeto. A Modelação de Informação da Construção (BIM) facilita os processos, permitindo obter as propriedades geométricas e semânticas de cada elemento de construção a partir de um modelo digital [1]. A integração de bases de dados de construção proporciona procedimentos mais automatizados que permitem obter de forma rápida o custo de construção.

1.1. Estrutura de composição de trabalhos

Uma estrutura de composição de trabalhos (WBS) é uma decomposição hierárquica dos trabalhos a executar pela equipa de projeto, que tem como objetivo dividir o projeto em partes mais pequenas e fáceis de gerir [2]. Os dois tipos de WBS para um projeto são [3]: (i) WBS baseada em resultados que divide o projeto em elementos, estes são normalmente os resultados finais, elementos que devem ser produzidos ou obtidos com as tarefas do projeto; (ii) WBS baseada em fases que divide inicialmente o projeto nas suas categorias ou fases onde os níveis hierárquicos inferiores representam os resultados finais de cada fase.

Quando se usa uma WBS num processo de extração de quantidades e estimativa de custos, a abordagem mais comum é a utilização de uma WBS baseada em resultados [4]. A sua integração num processo de extração de quantidades é importante uma vez que fornece uma estrutura para organizar os elementos do projeto. Cada um destes elementos pode depois ser avaliado e medido individualmente. Encontram-se disponíveis alguns exemplos de WBS, tais como: o Gerador de Preços da CYPE (utilizado neste estudo), a Lista de Preços Regional de Itália, as regras de medição ou o sistema ProNIC de Portugal.

1.2. OpenBIM

A utilização de BIM leva à necessidade de processos de troca de informação entre o software que preservem os dados e a sua qualidade. De acordo com a buildingSMART, o OpenBIM é um processo colaborativo que utiliza ficheiros de formato aberto, permitindo desta forma que todas as partes interessadas tenham acesso à informação. O formato de ficheiro mais utilizado é o IFC (*Industry Foundation Classes*) desenvolvido pela buildingSMART [5]. O IFC pode ser visto como o núcleo de um processo BIM colaborativo que abrange todo o ciclo de vida e que tem como objetivo assegurar a interoperabilidade entre as partes interessadas. O formato IFC permite o intercâmbio de dados geométricos (pavimentos, paredes, janelas, etc.) e não geométricos (propriedades mecânicas, custos, etc.) [6].

O processo de extração de quantidades é explicado na Figura 1, na qual se mostra a herança de atributos do objeto, de acordo com o esquema IFC, neste caso, de uma

parede. Um processo de QTO que é feito através do IFC é normalmente gerado mediante o mapeamento das propriedades do *Quantity Set* (quantidades do elemento) e do *Material Layer Set* (materiais do elemento).

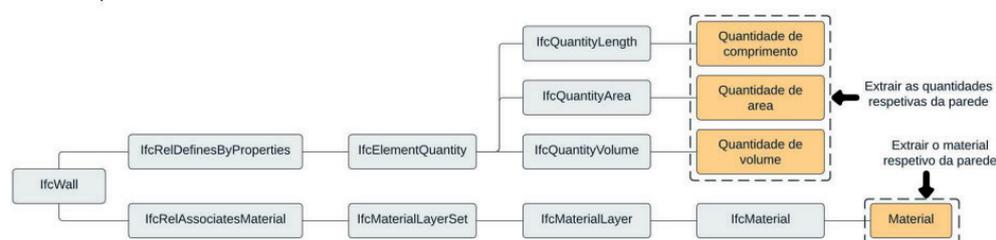


Figura 1
Quantidades no
esquema IFC.

1.3. Fatores restritivos da extração de quantidades baseada em BIM

A eficiência e a precisão de um processo, baseado em BIM, para a extração de quantidades depende das atividades de modelação para garantir um modelo completo, granular e adequado à finalidade pretendida. No entanto, na prática, os modelos muitas vezes não cumprem os requisitos necessários. O processo continua a depender de esforços manuais ou semiautomáticos para refinar as quantidades extraídas de modo a ser possível efetuar análises e procedimentos a jusante [7].

Khosakitchalert [8], define que uma das principais dificuldades para uma QTO baseada em BIM é a qualidade e a consistência da modelação, o que se deve à falta de guias de modelação para um processo de QTO. O modelo deve ser criado de forma a que todos possam compreender o projeto. Este facto é reforçado por Smith [9], que explica que as limitações de uma QTO baseada em BIM são os dados incompletos ou imprecisos. Smith refere que tal pode acontecer quando a equipa não tem a experiência ou conhecimento necessário para introduzir a informação no modelo. O estudo de Olsen & Taylor [1] assegura também que uma das principais limitações é a dimensão dos modelos BIM. Quando os modelos BIM se tornam complexos, dão origem a ficheiros extremamente grandes que conduzem a processos complicados e demorados, estes podem exigir conhecimentos especializados para compreender e interpretar os dados de forma eficaz. Por último, Choi [10] refere que o principal problema é a falta de interoperabilidade entre as partes envolvidas. A incompatibilidade entre diferentes aplicações ou versões de software dificulta o intercâmbio de dados e a integração do projeto.

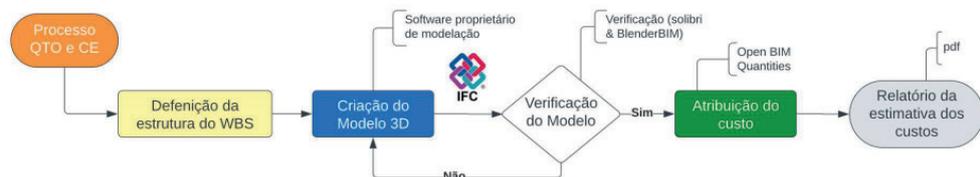
É necessário ter consciência de tais limitações. Os autores mencionados apresentam sugestões de solução para estas limitações, concluindo-se que podem ser resolvidas através de um fluxo de trabalho bem organizado, de um conjunto de regras bem estabelecidas entre as partes envolvidas, da supervisão constante e da utilização de ficheiros de formato aberto.

Neste trabalho é estudado um conjunto de regras de modelação, requisitos de informação, forma de extração de informação e fluxo de trabalho, para colmatar os problemas identificados para a geração de mapas de trabalhos e quantidades.

2. Metodologia de extração de quantidades e estimativa de custos

O fluxo de trabalho apresentado aborda os desafios colocados na realização da extração de quantidades e estimativa de custo suportados pela metodologia BIM. Conforme apresentado na Figura 2, o fluxo de trabalho é composto por cinco etapas principais que visam a consistência dos dados, a precisão da extração de quantidades e a definição de um nível adequado da informação necessária para cada elemento estudado neste trabalho. Todo o processo é sustentado pelo formato OpenBIM, IFC.

Figura 2
Extração de quantidades e estimativa de custos.



2.1. Definição da estrutura de composição de trabalhos

A definição da estrutura de composição de trabalhos, como primeiro passo, visa a consistência dos dados do projeto. Tal como mencionado no capítulo anterior, a consistência dos dados é um dos principais problemas num processo de QTO e CE, o que leva a imprecisões ou discrepâncias que podem implicar estimativas mal concebidas e, conseqüentemente, orçamentos errados. A consistência dos dados garante que os projetistas estão a trabalhar com informação fiável e falam a mesma “língua”, facilitando-se deste modo a comunicação entre as partes envolvidas.

Neste passo, o utilizador deve definir todos os elementos que integram o projeto, bem como as respetivas características. No âmbito do presente estudo, a estrutura de composição de trabalhos foi definida através do Gerador de Preços da CYPE. Este proporciona todos os elementos necessários para gerar um orçamento adequado: uma base de dados estruturada hierarquicamente que permite modificações de acordo com as necessidades do utilizador; um sistema de codificação; as unidades de medida; a lista de materiais; e as unidades de obra necessárias para gerar a estimativa de custos.

A elaboração de uma tabela semelhante à Tabela 1, ajuda a compreender quais são os elementos do projeto, devidamente classificados pela sua categoria, descrição e sistema de codificação.

Tabela 1: Exemplo de WBS para um pavimento

Código	Sufixo	Elemento	Camada	Unidade
Pavimento interior				
RSM050	_01_01	Rodapé de madeira	Rodapés	m
RSM040	_01_01	Parquet multicamada	Camada de acabamento	m ²
RSB010	_01_01	Base de argamassa de cimento		m ²
NAK010	_01_01	Isolamento térmico horizontal de lajes térreas, com poliestireno extrudido	Camada de núcleo	m ²

2.2. Procedimento de modelação

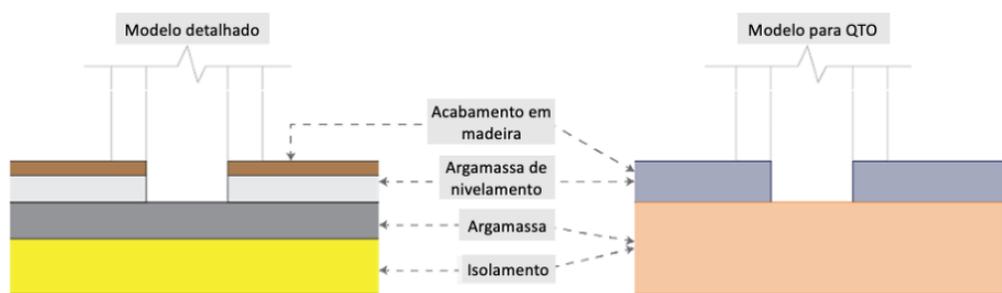
O procedimento de modelação foi estabelecido através da criação de vários testes em diferentes ferramentas, com especial incidência no Autodesk Revit 2023. Este procedimento definiu as regras de modelação, diretrizes e considerações sobre a forma de modelar os elementos necessários no projeto para uma extração de quantidades precisa. Os testes consistiram na modelação de vários elementos arquitetónicos e da sua exportação em IFC, com foco nos aspetos geométricos e alfanuméricos. Este processo permitiu determinar o procedimento de modelação, bem como a definição da informação necessária para cada elemento.

A definição de regras de modelação é uma das etapas mais importantes do fluxo de trabalho, uma vez que estas constituem uma das principais ferramentas para gerar consistência na criação do modelo. O seu objetivo é simplificar o processo de modelação, mantendo os requisitos necessários para trabalhar de acordo com a WBS do projeto, assim, estabelecem-se as seguintes etapas:

- Definir a WBS: Escolher uma estrutura de composição de trabalhos para utilizar no projeto. Esta conterà a estrutura principal para a modelação dos elementos da arquitetura e deve ser sempre respeitada.
- Definir o nível de informação necessário: A partir do IFC, identificar a informação necessária para a estimativa de custos, se um elemento estiver ausente, este deve ser mapeado através de um conjunto de propriedades criadas pelo utilizador.
- Minimizar a informação geométrica: Os elementos compostos devem ter o número mínimo de camadas possível para evitar o excesso de dados no modelo.
- Definir a precisão: Verificar se a geometria dos objetos no modelo reflete com precisão as dimensões físicas reais dos componentes do edifício.
- Evitar o excesso de componentes de modelação no projeto: Para reduzir a quantidade de informação no modelo, alguns objetos podem depender de outros para o cálculo da sua quantidade e não precisam de ser criados no modelo 3D. Por exemplo: rodapé, rufo, viga de coroamento de uma parede, etc.
- Utilizar a classificação IFC adequada: Atribuir tipos de objetos adequados aos elementos do modelo BIM. Uma boa classificação dos objetos é crucial para o cálculo de quantidades, especialmente quando o software atribui automaticamente a propriedade `IfcType` com base no tipo de família.

Embora este estudo incida sobre vários elementos arquitetónicos, o âmbito do presente artigo centra-se na geração e nas considerações relativas à modelação de pavimentos. Do ponto de vista geométrico, os pavimentos podem ser tratados como elementos compostos por duas camadas principais, dependendo da sua finalidade: uma camada de núcleo e uma camada de acabamento. O número de camadas corresponde à sua função e dimensionalidade, o que significa que, independentemente do material, as dimensões são geralmente as mesmas, como mostra a Figura 3. Divide-se o pavimento utilizando a ferramenta do Revit “Parts”, o que permite que a sua configuração represente a altura e largura reais para um cálculo de quantidades mais exato. Caso seja necessário um corte numa só camada, deve-se utilizar a ferramenta “Exclude parts” em vez de modelar *in place voids*.

Figura 3
Definição de camadas.



O segundo passo para o processo de modelação consiste em estabelecer um nível adequado da informação necessária, centrado principalmente na informação geométrica e na informação alfanumérica com vista à extração de quantidades, tal como se mostra na Figura 4.

Figura 4
Nível de informação necessário para os pavimentos.

Objeto	Pavimento
Propósito	Extração de quantidades
Informação geométrica	
Detalhe	Detalhado
Dimensionalidade	3D
Localização	Localização relativa
Aparência	Cores consistentes
Comportamento paramétrico	Não aplicável
Informação alfanumérica	
Identificação	Código WBS
Conteúdo das informações	Tabela dos pavimentos

Tabela dos pavimentos

Conjunto de propriedades	Objetos	Tipo de camada	Classe IFC	Tipo IFC	Propriedade QTO IFC	Uni.
Qto_SlabBase Quantities	1-Floor finish	Camada de acabamento	IfcSlab	Floor	NetArea	m ²
	2-Slab	Camada de núcleo		Baseslab		

Quando todos os elementos do modelo 3D estiverem concluídos, é importante integrar metadados em cada um deles. Como se mostra na Figura 5, cada elemento deve incluir: nome, material, código WBS e classificação IFC. Tanto o nome do elemento como o seu material devem ser corretamente identificados, seguindo a convenção de nomenclatura da futura norma Portuguesa para objetos BIM [11]. Se o elemento for constituído por camadas, deve incluir uma cor RGB que permita ao utilizador compreender corretamente o sistema de camadas. O identificador da WBS deve ser representado pelo seu código WBS e identificador (que consiste em dois números: o

primeiro representa o material e o segundo as variações dentro da WBS). Por fim, o utilizador tem de atribuir a classificação IFC adequada a cada objeto.

O processo de modelação deve ser efetuado de acordo com uma abordagem estruturada. Isto significa que todos os elementos integrados no projeto devem seguir os passos mencionados anteriormente e que o utilizador deve incluí-los seguindo uma determinada ordem, para evitar que faltem elementos ou que estes se repitam.

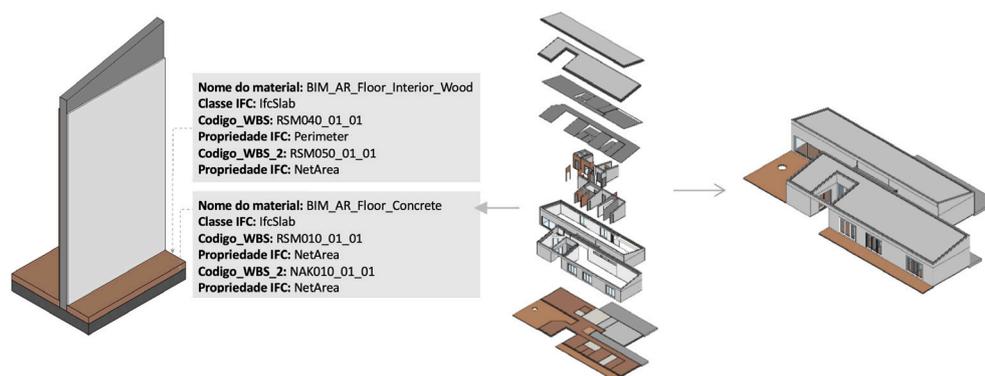


Figura 5
Processo de modelação da Casa da Lagoa.

Como exemplo para este estudo, o fluxo de trabalho foi testado através da modelação de um edifício, a Casa da Lagoa, trata-se de um caso de estudo fornecido pelo gabinete de arquitetura Marta Campos. Como se mostra na Figura 5, para modelar o projeto decidiu-se começar por modelar todos os elementos exteriores, depois os elementos interiores, terminando com a introdução das portas e janelas. Esta sequência pode ser alterada de acordo com as necessidades do utilizador.

2.3. Exportação do IFC

O último passo para o processo de modelação é gerar um ficheiro IFC. A configuração da exportação IFC depende da ferramenta utilizada. Através deste estudo foram realizados vários testes no software Revit, CYPE Architecture e ArchiCAD. Como se pode ver na Tabela 2, cada software tem uma configuração distinta. O software foi testado principalmente para determinar quais as propriedades dos elementos que necessitavam de um procedimento de mapeamento.

Tabela 2: Exportação IFC das propriedades das quantidades de uma laje

Objeto: Laje	Revit			ArchiCAD			CYPE Architecture	
	Sem partes	Partes		Sem partes	Partes		Sem partes	Partes
		Conjunto	Parte		Conjunto	Parte		
Qto_SlabBaseQuantities								
Width		**						-
Length		**						-
Depth		**						-
Perimeter		**						-
GrossArea		**				*		-
NetArea		**				*		-
GrossVolume		**				*		-
NetVolume		**				*		-
GrossWeight	x	x	x	x	x	x	x	-
NetWeight	x	x	x	x	x	x	x	-
Camada de material	Conjunto	**	Por camada	Por camada	Conjunto	Por camada	Não inc.	-

Notas: * Não apresentado como esquema IFC. ** Apresentados como partes sempre.

Como mencionado, este estudo centrou-se principalmente no Autodesk Revit 2023. Para uma exportação correta, a configuração deve ser feita da seguinte forma: (i) Versão IFC: IFC4 “Reference View”; (ii) Exportar os conjuntos de propriedades comuns do IFC; (iii) Exportar as quantidades base; (iv) Exportar o conjunto de propriedades definido pelo utilizador; (v) Exportar as “Parts” como elementos de construção. A definição de um conjunto de propriedades do utilizador é necessária para mapear as propriedades que possam estar em falta, quando a exportação é efetuada, ou as propriedades que não pertencem ao esquema IFC, como por exemplo, “WBS code”.

2.4. Processo de verificação

A terceira etapa da metodologia proposta visa a verificação da informação geométrica e alfanumérica. Este procedimento assegura a exatidão e a fiabilidade do modelo 3D e do ficheiro IFC. Como mostra a Figura 6, o procedimento é composto por duas fases principais: a verificação geométrica, que analisa a fiabilidade volumétrica do projeto; e a verificação da informação, visando assegurar que todas as propriedades necessárias para o processo QTO foram exportadas corretamente. Se não se verificarem problemas de maior, o ficheiro IFC pode ser carregado no Open BIM Quantities para continuar com o processo de extração de quantidades e gerar a estimativa de custos.

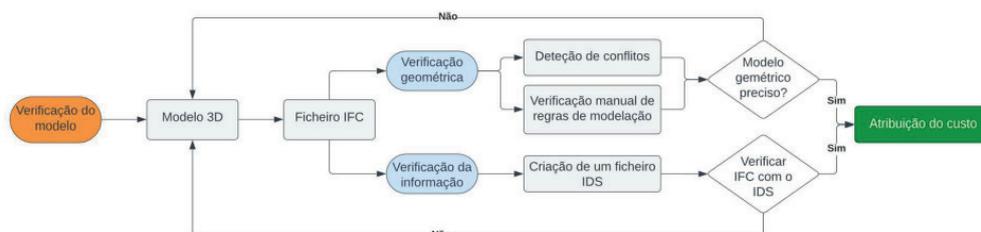


Figura 6
Fluxo de trabalho de verificação do modelo.

A etapa de verificação da informação geométrica é composta por dois filtros: deteção de conflitos e verificação manual das regras de modelação. A deteção de conflitos procura a interseção entre elementos ou a repetição de elementos no modelo. Paralelamente, a verificação manual certifica que os elementos do projeto foram modelados de acordo com as regras e orientações de modelação mencionadas. Este processo permite evitar a sobrestimação ou subestimação dos materiais, trabalhos e custos.

A verificação da informação alfanumérica visa confirmar que todas as propriedades estabelecidas pelo nível de informação necessário, para cada elemento, foram corretamente exportadas para o ficheiro IFC. Este processo consiste em duas etapas principais: a geração do IDS usando o usBIM.editor e a verificação do ficheiro IFC usando o BlenderBIM.

2.5. Base de dados de preços e estimativa de custos

Após a exportação do IFC, o passo seguinte é atribuir os custos a cada elemento. Para isso, é necessário definir o projeto na plataforma BIMserver.center e carregar o ficheiro IFC na aplicação Open BIM Quantities. Para gerar a estimativa de custos do ficheiro é necessário:

- Definir uma base de dados de preços. Nesta etapa, o utilizador deve importar os dados do Gerador de Preços e organizá-los de acordo com a ordem da WBS estabelecida na tabela apresentada no início do fluxo de trabalho (Tabela 1).
- Definir as regras de medição. Isto é, ligar os dados importados do Gerador de Preços ao modelo através dos códigos WBS. É importante seguir a WBS previamente definida, uma vez que esta determinará a ordem na estimativa de custos.
- Gerar um mapa de quantidades: Como mostra a Figura 7, o mapa de quantidades representa todos os elementos do projeto ordenados por: primeiro, a classificação por categorias definida na WBS e, segundo, um sistema de codificação que define o elemento e o respetivo preço.

O resultado final da metodologia apresentada é o orçamento gerado com o Open BIM Quantities. O orçamento inclui o código WBS de identificação, uma descrição dos trabalhos, os custos unitários e totais por categoria e as medições detalhadas de acordo com as regras de medição estabelecidas.

Figura 7

Lista de quantidades extraída do Open BIM Quantities.

Code	Ut	Summary	Quantity	Rate	Amount
Walls					159,981.66 €
ExteriorWall		ExteriorWall			36,472.35 €
InteriorWall		InteriorWall			15,601.67 €
FBV010_01_01	m ²	Tabique de placas de yeso laminado.	71.35	38.99	2,781.94 €
FBV010_01_02	m ²	Tabique de placas de yeso laminado hidrofugado.	146.16	50.00	7,308.00 €
RAG140_01_01	m ²	Revestimiento interior con piezas de gran forma...	64.67	41.22	2,665.70 €
RAG140_02_01	m ²	Revestimiento interior con piezas de gran forma...	26.86	43.11	1,157.93 €
RDM010_01_01	m ²	Revestimiento mural con tablero de madera.	16.00	21.19	339.04 €
RUP035_01_01	m ²	Pintura plástica sobre paramento interior de yes...	186.85	7.22	1,349.06 €
Parapet					107,907.64 €
FloorsInterior		FloorsInterior			40,834.45 €
IAA010_01_01	m ²	Aislamiento térmico horizontal de soleras en co...	272.71	16.30	4,466.99 €
RSAA00_01_01	m ²	Capa fina de mortero autonivelante de cemento...	126.48	20.78	2,628.25 €
RSB010_01_01	m ²	Base de mortero de cemento.	272.71	22.30	6,081.43 €
RSF013_01_01	m ²	Felpudo textil.	4.02	40.14	161.36 €
RSF110_01_01	m ²	Pavimento interior de piezas de gres esmaltado. ...	44.50	44.58	1,983.81 €
RSM040_01_01	m ²	Parquet multicapa.	158.81	36.17	5,744.16 €
RSM050_01_01	m	Rodapie de madera.	697.52	5.40	3,766.61 €
RSP010_01_01	m ²	Soldado de piedra natural sobre una superficie pl...	77.00	72.65	5,594.05 €
FloorExterior					10,407.79 €
RSM022_01_01	m ²	Tarima de madera para exterior.	91.30	78.99	7,211.79 €
UXH010_01_01	m ²	Soldado de baldosas de hormigón.	77.31	41.34	3,196.00 €

3. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O fluxo de trabalho apresentado teve como principal objetivo a criação de um processo de extração de quantidades e estimativa de custos alicerçadas na base de dados Gerador de Preços, ou seja, a WBS fornecida pela empresa envolvida neste estudo, a Top Informática. O procedimento foi concebido usando o ficheiro IFC como principal fonte de informação para gerar a estimativa de custos do projeto, através de um processo automatizado que utiliza o sistema de codificação extraído do Gerador de Preços. O processo assegurou uma extração precisa das quantidades, a consistência dos dados e uma abordagem aberta, seguindo as regras de modelação definidas e utilizando o Gerador de Preços para obter a estimativa de custos completa.

Complementando o resultado final deste estudo, o trabalho apresentado estabeleceu o nível de informação necessário para a extração de quantidades da especialidade de arquitetura. Deste modo definiu-se a informação, tanto geométrica como alfanumérica, necessária para a extração de quantidades. Paralelamente, a verificação de ambos os tipos de dados foi também outro aspeto importante do estudo, uma vez que esta garante a qualidade do IFC, a qual permite uma estimativa correta dos custos do projeto.

É importante notar que esta metodologia abre a porta a outras oportunidades de investigação. Dois dos desenvolvimentos futuros mais relevantes poderão ser: em primeiro lugar, aplicar o mesmo procedimento a outras especialidades e testar a forma como o fluxo de trabalho e as regras de modelação devem ser adaptados a essas especialidades; em segundo lugar, a integração de normas novas ou a sua atualização, no processo. Algumas normas da buildingSMART estão a ser desenvolvidas durante esta investigação e a sua aplicação ao fluxo de trabalho apresentado pode solidificar a sua eficácia e aplicabilidade.

Por último, a extração de quantidades e a estimativa de custos são temas abrangentes que estão abertos a novas possibilidades e a novos desenvolvimentos. A natureza dinâmica destes domínios convida a uma exploração e inovação contínuas. Aceitar o seu desenvolvimento garante precisão, eficiência e adaptabilidade promissoras no planeamento e execução de um projeto.

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 de Estruturas (ISISE), com a referência UIDB / 04029/2020, e no âmbito do Laboratório Associado Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020.

Referências

- [1] D. Olsen and J. M. Taylor, "Quantity Take-off using building information modelling (BIM), and its limiting factors," in *Procedia Engineering*, 2017.
- [2] M. Alutbi, "Work Breakdown Structure (WBS)," University of Thi-Qar, 2020.
- [3] R. Duke, "Work Breakdown Structure," 2023. [Online]. Available: <https://www.workbreakdownstructure.com/>. [Accessed 12 07 2023].
- [4] H. Abrevaya, "How to Estimate Project Expenses for Labor, Materials and Equipment; Billd," 21 November 2021. [Online]. Available: <https://billd.com/blog/estimate-construction-expenses/>. [Accessed 04 08 2023].
- [5] buildingSMART, "What is OpenBIM?," buildingSMARTInternational, 2022. [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/>. [Accessed 02 07 2023].
- [6] S. Gerbino, L. Cieri and C. Rainieri, "On bim interoperability via the ifc standard: An assessment from the structural engineering and design viewpoint," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 23, 2021.
- [7] L. Viera, M. Campos, J. Granja and M. Azenha, "Framework for (semi) automatised construction specification and quantity takeoff in the context of small and medium architectural design offices," *Architecture, Structures and Construction*, vol. 2, no. 3, pp. 403-437, 2022.
- [8] C. Khosakitchalert, N. Yabuki and F. Tomohiro, "Improving the accuracy of BIM-based quantity take-off for compound elements," 2019.
- [9] P. Smith, "Project Cost Management with 5D BIM," *Procedia - Social Behavioral Sciences*, vol. 226, pp. 193-200, 2016.
- [10] J. Choi, H. Kim and I. Kim, "Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 16-25, 2015.
- [11] "Regras de modelação de objetos," 2021. [Online]. Available: <https://www.eeagrants.gov.pt/media/5775/atividade-a4-relatorio-regras-de-objetos.pdf>. [Accessed 27 12 2023].

Parte VI – Sustentabilidade

Otimização e ranking de paredes com base na ACV usando ferramenta BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.16>

**Maria Teresa Ferreira¹,
António Aguiar Costa², José Dinis Silvestre³**

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal, orcid.org/0000-0002-2826-7087

² CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal, orcid.org/0000-0002-5123-4451

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa,
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal, orcid.org/0000-0002-3330-2000

Resumo

O artigo explora a integração do *Building Information Modelling* (BIM) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com o objetivo de otimizar o projeto e a construção, com foco na sustentabilidade. O BIM permite a representação e análise digital das características do projeto, enquanto a ACV avalia os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um material, produto ou sistema.

O contributo do artigo centra-se na combinação das duas metodologias numa ferramenta BIM desenvolvida pelos autores para o efeito de ACV, ranking de paredes e substituição automática dos objetos BIM (paredes) no projeto. Assim, os profissionais conseguem simular comportamentos e avaliar diferentes cenários, podendo projetar paredes sustentáveis e eficientes.

A integração do BIM e da ACV oferece uma abordagem holística para otimizar decisões de projeto, considerando desempenho e sustentabilidade. No presente artigo é apresentado um caso de estudo focado no elemento parede, em que várias tipologias de solução são analisadas. Os resultados da ACV podem ser visualizados através dos rankings propostos e comunicados de forma eficaz por meio do plugin BIM, auxiliando e agilizando a tomada de decisões. Essa integração identifica opções de projeto sustentáveis, avalia cenários e melhorando a ACV, comunicação e colaboração.

1. Introdução

A rápida evolução tecnológica e as alterações climáticas são o desafio estabelecido primeiramente no acordo de Paris e delineados posteriormente no *EU Green Deal*, com objetivos específicos de redução das emissões de carbono em 55% ou mais até 2030 e a Europa a ser um continente climaticamente neutro até 2050 (EC2019) [1], [2]. O *EU Green Deal* estabelece ambiciosas diretrizes europeias para a sustentabilidade [3] em diversas áreas. A construção só por si tem um impacto significativo nas emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), sendo especificamente responsável por metade dos materiais primários extraídos do meio ambiente, 40% da energia consumida, um terço dos resíduos gerados e um terço do consumo de água [3]. Estando a parte mais significativa destas emissões concentradas nas fases do Ciclo de Vida (CV) A1-A3, extração e transporte e produção dos materiais em fábrica (Tabela 1).

Tabela 1: Fases do Ciclo de Vida, adaptação da norma EN15804:2012+A2:2019 [8]

	Produção	Construção	Em Utilização	Fim de Vida
Fornecimento de materiais primários	A1			
Transporte	A2			
Fabricação	A3			
Instalação		A4		
Construção		A5		
Utilização			B1	
Manutenção			B2	
Reparação			B3	
Substituição			B4	
Reabilitação			B5	
Consumo de Energia			B6	
Consumo de Água			B7	
Desconstrução, Demolição				C1
Transporte				C2
Processamento de resíduos				C3
Desperdícios				C4
Potencial de Reutilização, Reciclagem e recuperação de energia				D

Na revisão da literatura foram encontrados alguns estudos sobre a integração de ACV em ferramentas BIM que já foram desenvolvidos [4], em particular no projeto Circular EcoBIM, [5, 6, 7], contudo nenhum deles aborda a otimização do projeto com base na criação de rankings para as soluções propostas pela ferramenta. Foi assim identificada a oportunidade de desenvolvimento da presente investigação que consiste no contexto de otimização do design com base na AVC.

O presente artigo propõe atuar na mitigação das alterações climáticas no setor da construção, propondo uma ferramenta de apoio à decisão para a fase de projeto.

No âmbito do presente trabalho, a pergunta que se procura responder é a seguinte: Será que o desempenho da ACV dos edifícios, pode ser otimizado nas fases de

projeto, através da utilização de bibliotecas de elementos BIM e sistemas construtivos que agilizem cenários alternativos?

A resposta consiste no desenvolvimento de uma ferramenta BIM que calcula a ACV com base num modelo BIM, adicionando automaticamente os parâmetros partilhados necessários para a ACV aos objetos BIM, adicionar os valores do impacto ambiental de cada indicador através do acesso a bases de dados, o cálculo da ACV com base na modelação BIM, assim como a automatização da substituição de paredes no modelo BIM quando na análise ambiental feita no plugin desenvolvido o projetista opta por outra solução construtiva. Adicionalmente, o contributo inovador que se propõe é o benchmarking de paredes, a possibilidade de ponderação entre vários critérios para a solução final de paredes escolhida.

2. Materiais e métodos

2.1. Metodologia

A ferramenta foi desenvolvida em C# para a API do software REVIT da Autodesk. Para a ACV foram tidos em conta os indicadores ambientais necessários para fazer uma ACV dos edifícios com base na normativa europeia [8, 9] e no *Level(s) Framework* proposto pela comissão europeia [10, 11]. Foram também adicionados à ferramenta o indicador económico de custo inicial expresso em Euros.

Antes de iniciar a ACV é necessário que os projetistas tenham um modelo BIM do projeto integrando o Nível de Desenvolvimento, da fase do projeto em que se encontram. Seguidamente ao abrir o plugin são carregados diretamente todos os dados do modelo para o plugin tanto a nível de informação contida nos objetos BIM como quantidades, é nesse momento que são adicionados automaticamente pelo plugin os indicadores ambientais e económicos a todos os elementos e materiais do modelo BIM, ficando a informação retida no modelo nos parâmetros partilhados criados mesmo quando o plugin é encerrado.

2.2. Desenvolvimento

Depois de todos os elementos e materiais contidos no modelo serem carregados pelo plugin (Figura 1) é possível selecionar um a um cada elemento e automaticamente uma nova janela aparece com sugestões para a otimização de paredes (Figura 2).

São sugeridas automaticamente 60 tipos diferentes de paredes com um sistema de ranking (Tabela 2) onde é posicionado o impacto ambiental de determinada parede em relação às restantes, coluna 1 da Figura 2, é dada a opção ao utilizador de escolher por qual dos indicadores selecionados quer organizar o seu ranking de entre as opções, Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (ADP), Potencial de Acidificação (AP), Potencial de Eutrofização (EP), Potencial de Aquecimento Global (GWP), Potencial de Depleção da Camada de Ozono (ODP), Potencial de Oxidação fotoquímica

(POCP), Coeficiente de condutibilidade térmica (*U-Value*), custo, ou a espessura total da parede (Figura 3). Ao estabelecer o ranking como instrumento de apoio à decisão foi importante estabelecer um para que cada indicador para que o projetista pudesse ordenar o seu ranking com base na ponderação entre os indicadores mais importantes para a sua decisão final. A escolha do indicador decisivo pode não passar pelo indicador ambiental, mas sim por uma análise de custo ou mesmo a espessura total que impacta no projeto em causa, que ponderando o ranking de cada indicador servem de apoio à decisão. Tendo por base 60 soluções de paredes previamente estudadas [12] e cuidadosamente selecionadas com vista à redução do impacto ambiental do sector da construção no meio ambiente.

Figura 1
Elementos e materiais dos objetos BIM visualizados no plugin.

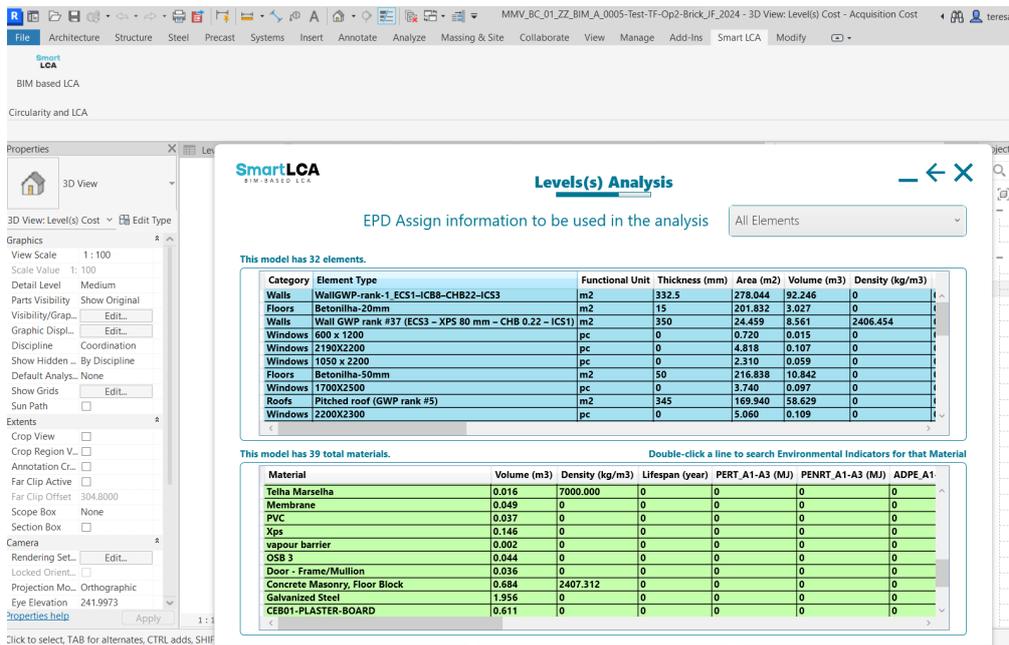


Figura 2
Soluções de otimização de paredes com ranking propostas pelo plugin.

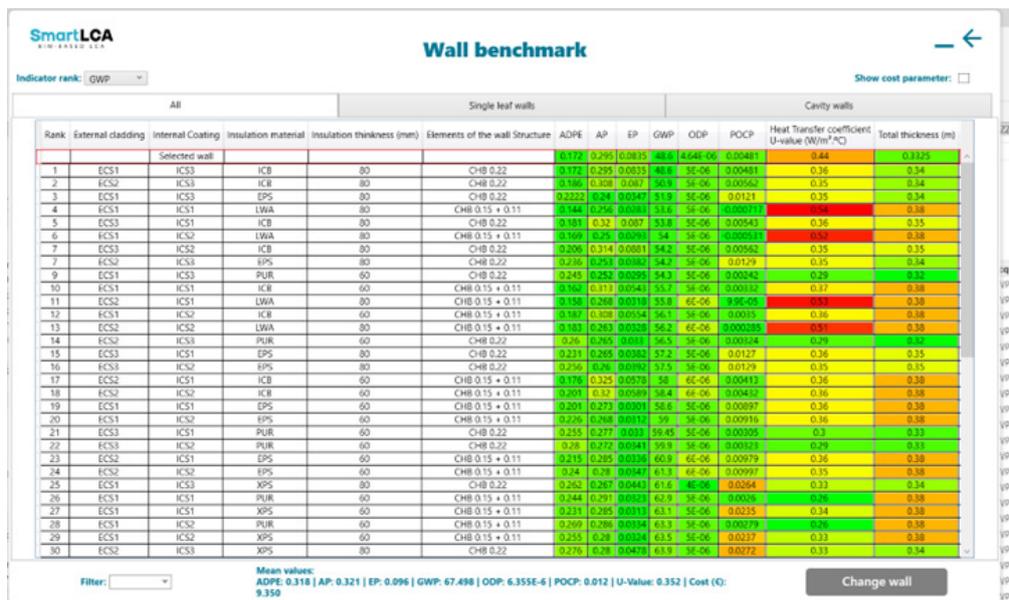


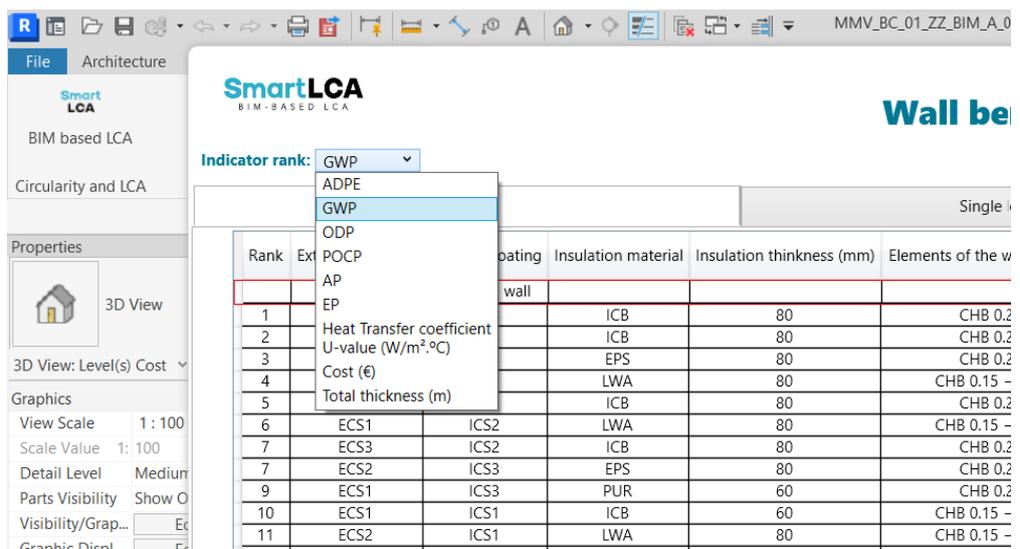
Tabela 2: Excerto de 20 paredes de 20 paredes do Sistema de Ranking

Paredes Exteriores	Potencial de Depleção de Recursos Abióticos (ADP)	Potencial de Acidificação (AP)	Potencial de Eutrofização (EP)	Potencial de Aquecimento Global (GWP)	Potencial de Depleção da Camada de Ozono (ODP)	Potencial de Oxidação fotoquímica (POCP)	Coeficiente de condutibilidade térmica U-value	Custo	Espessura total da parede	Revestimento Exterior	Revestimento Interior	Isolamento		Elementos estruturais
												Material	Espessura	
Unidade Funcional	kg Sb eq.	mol H+ eq.	kg PO43-eq.	kg CO eq.	kg CFC-11 eq.	kg NMVOC eq.	W/m².°C	€	m				mm	
W1	4.16E-01	3.01E-01	5.02E-02	7.75E+01	8.67E-06	3.64E-03	0.36	10 €	0.35	ECS3- Aderente (reboco 0,02m, adesivo, (isolamento), malha de fibra de vidro, reboco 0,01m e tinta à base de água)	ICS1 - Aderente (reboco 0,02m e tinta à base de água)	SW	80	
W2	2.31E-01	2.66E-01	3.82E-02	5.72E+01	5.11E-06	1.27E-02	0.36	9 €	0.35			EPS	80	
W3	1.81E-01	3.20E-01	8.70E-02	5.38E+01	5.17E-06	5.43E-03	0.36	9 €	0.35			ICB	60	
W4	2.58E-01	2.77E-01	3.30E-02	5.95E+01	5.14E-06	3.05E-03	0.3	9 €	0.33			PUR	60	
W5	2.71E-01	2.92E-01	4.78E-02	6.69E+01	5.01E-06	2.70E-02	0.33	10 €	0.35			XPS		
W6	4.41E-01	2.96E-01	5.12E-02	7.79E+01	8.73E-06	3.83E-03	0.35	10 €	0.35			SW	80	
W7	2.56E-01	2.60E-01	3.92E-02	5.75E+01	5.17E-06	1.29E-02	0.35	9 €	0.35			EPS		
W8	2.06E-01	3.14E-01	8.81E-02	5.42E+01	5.23E-06	5.62E-03	0.35	9 €	0.35			ICB		
W9	2.80E-01	2.72E-01	3.41E-02	5.99E+01	5.20E-06	3.23E-03	0.29	9 €	0.33			PUR	60	CHB (0.22, mais
W10	2.96E-01	2.87E-01	4.88E-02	6.73E+01	5.07E-06	2.72E-02	0.33	10 €	0.35			XPS		argamassa de alvenaria estabilizada)
W11	5.15E-01	3.73E-01	3.32E-01	8.99E+01	8.83E-06	1.13E-02	0.37	11 €	0.39	ECS4- Fixo a uma estrutura de suporte - VRF (reboco de 0,02m na superfície externa do CHB. E estrutura e placas WPC criando uma cavidade ventilada)	ICS1	SW	80	
W12	3.30E-01	3.36E-01	3.20E-01	6.95E+01	5.26E-06	2.03E-02	0.36	9 €	0.39			EPS		
W13	2.80E-01	3.91E-01	3.69E-01	6.61E+01	5.33E-06	1.31E-02	0.37	9 €	0.39			ICB		
W14	3.54E-01	3.48E-01	3.15E-01	7.18E+01	5.30E-06	1.07E-02	0.3	9 €	0.37			PUR	60	
W15	3.70E-01	3.63E-01	3.30E-01	7.92E+01	5.17E-06	3.46E-02	0.34	9 €	0.39			XPS		
W16	5.39E-01	3.68E-01	3.34E-01	9.02E+01	8.89E-06	1.15E-02	0.36	9 €	0.39			SW	80	
W17	3.55E-01	3.31E-01	3.22E-01	6.98E+01	5.33E-06	2.05E-02	0.35	9 €	0.39			EPS		
W18	3.05E-01	3.86E-01	3.70E-01	6.65E+01	5.39E-06	1.33E-02	0.36	9 €	0.39			ICB		
W19	3.79E-01	3.43E-01	3.16E-01	7.22E+01	5.36E-06	1.09E-02	0.29	9 €	0.37			PUR	60	
W20	3.95E-01	3.58E-01	3.31E-01	7.96E+01	5.23E-06	3.48E-02	0.33	9 €	0.39			XPS	80	

Legenda das siglas da Tabela 2 e Figura 2

ECS	ECS (Sistema de revestimento externo):	ETICS (Sistema composto, isolamento térmico composto)
		GFRC (Betão reforçado com fibra de vidro)
		VRF (Fachadas ventiladas com tela de chuva)
		WPC (Composto Madeira-Plástico)
ICS	ICS (Sistema de revestimento interno)	
Materiais de Isolamento	EPS (Poliestireno expandido)	
	ICB (Placa de cortiça de isolamento)	
	LWA (Agregado leve)	
	PUR (Poliuretano)	
	SW (Lã de pedra)	
	XPS (Poliestireno extrudido)	
Elementos da Estrutura da parede	CHB (Tijolos de barro cozidos, perfurados horizontalmente)	
	LCB (Blocos de betão leve, com LWA, perfurados verticalmente)	

Figura 3
Indicadores possíveis para estabelecer o Ranking.



3. Caso de estudo

No caso de estudo em análise, uma moradia unifamiliar localizada em Portugal, foi escolhida a parede com o Ranking 4, tendo por base o indicador ambiental GWP.

SmartLCA Wall benchmark

Indicator rank: GWP | Show cost parameter:

Rank	External cladding	Internal Coating	Insulation material	Insulation thickness (mm)	Elements of the wall Structure	ADPE	AP	EP	GWP	ODP	POCP	Heat Transfer coefficient U-value (W/m²·K)	total thickness (m)
1	ECS1	ICS3	ICB	80	CHB 0.22	0.172	0.295	0.0825	38.6	35-06	0.00481	0.36	0.34
2	ECS2	ICS3	ICB	80	CHB 0.22	0.186	0.308	0.087	38.8	35-06	0.00562	0.35	0.34
3	ECS1	ICS3	EPS	80	CHB 0.22	0.2222	0.24	0.0947	51.9	35-06	0.0121	0.35	0.34
4	ECS1	ICS1	LWA	80	CHB 0.15 + 0.11	0.144	0.256	0.0283	53.6	35-06	0.000717	0.34	0.38
Selected wall													
5	ECS3	ICS1	ICB	80	CHB 0.22	0.181	0.32	0.087	53.8	35-06	0.00543	0.36	0.35
6	ECS1	ICS2	LWA	80	CHB 0.15 + 0.11	0.169	0.283	0.0291	54.1	35-06	0.000398	0.32	0.38
7	ECS2	ICS2	ICB	80	CHB 0.22	0.206	0.314	0.0881	54.2	35-06	0.00562	0.35	0.35
8	ECS2	ICS3	EPS	80	CHB 0.22	0.236	0.253	0.0882	54.2	35-06	0.0129	0.35	0.34
9	ECS1	ICS3	PUR	60	CHB 0.22	0.245	0.252	0.0295	54.3	35-06	0.00342	0.29	0.32
10	ECS1	ICS1	ICB	60	CHB 0.15 + 0.11	0.182	0.313	0.0541	53.7	35-06	0.00332	0.37	0.38
11	ECS2	ICS1	LWA	80	CHB 0.15 + 0.11	0.158	0.248	0.0318	53.8	44-06	0.00295	0.53	0.38
12	ECS1	ICS2	ICB	60	CHB 0.15 + 0.11	0.187	0.308	0.0554	56.1	35-06	0.0033	0.36	0.38
13	ECS2	ICS2	LWA	80	CHB 0.15 + 0.11	0.192	0.282	0.0338	56.2	44-06	0.000388	0.51	0.38
14	ECS2	ICS3	PUR	60	CHB 0.22	0.26	0.285	0.031	56.5	35-06	0.00324	0.29	0.32
15	ECS3	ICS1	EPS	80	CHB 0.22	0.231	0.265	0.0282	57.2	35-06	0.0127	0.36	0.25
16	ECS3	ICS2	EPS	80	CHB 0.22	0.256	0.28	0.0302	57.5	35-06	0.0129	0.35	0.35
17	ECS2	ICS1	ICB	60	CHB 0.15 + 0.11	0.176	0.325	0.0578	58	44-06	0.00413	0.36	0.38
18	ECS2	ICS2	ICB	60	CHB 0.15 + 0.11	0.201	0.32	0.0589	58.4	44-06	0.00432	0.36	0.38
19	ECS1	ICS1	EPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.201	0.277	0.0301	58.6	35-06	0.00897	0.36	0.38
20	ECS1	ICS2	EPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.226	0.288	0.0312	59	35-06	0.00916	0.36	0.38
21	ECS3	ICS1	PUR	60	CHB 0.22	0.255	0.277	0.031	59.45	35-06	0.00305	0.3	0.33
22	ECS3	ICS2	PUR	60	CHB 0.22	0.28	0.272	0.0341	59.9	35-06	0.00331	0.29	0.33
23	ECS2	ICS1	EPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.215	0.285	0.0336	60.9	44-06	0.00979	0.36	0.38
24	ECS2	ICS2	EPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.24	0.28	0.0347	61.3	44-06	0.00997	0.35	0.38
25	ECS1	ICS3	XPS	80	CHB 0.22	0.262	0.287	0.0442	61.6	35-06	0.0264	0.33	0.34
26	ECS1	ICS1	PUR	60	CHB 0.15 + 0.11	0.244	0.291	0.0323	62.9	35-06	0.00626	0.28	0.38
27	ECS1	ICS1	XPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.231	0.285	0.0313	63.1	35-06	0.0235	0.34	0.38
28	ECS1	ICS2	PUR	60	CHB 0.15 + 0.11	0.269	0.286	0.0334	63.3	35-06	0.00779	0.28	0.38
29	ECS1	ICS2	XPS	60	CHB 0.15 + 0.11	0.255	0.28	0.0324	63.5	35-06	0.0237	0.33	0.38
30	ECS2	ICS3	XPS	80	CHB 0.22	0.276	0.28	0.0408	63.9	35-06	0.0272	0.33	0.34

Filter: | Mean values: ADPE: 0.317 | AP: 0.320 | EP: 0.095 | GWP: 67.580 | ODP: 6.361E-6 | POCP: 0.012 | U-Value: 0.360 | Cost (€): 9.350 | Change wall

Figura 4 Indicadores possíveis para estabelecer o Ranking.

Automaticamente a parede é substituída em todo o modelo incluindo todas as camadas (Layers) que a constituem com os materiais especificados na Figura 4, o resultado da automatização da substituição é visível na Figura 5 ao abrir as propriedades da parede exterior resultado da análise. Automaticamente é também gerado o pormenor de parede com todas as camadas da solução selecionada (Figura 6).

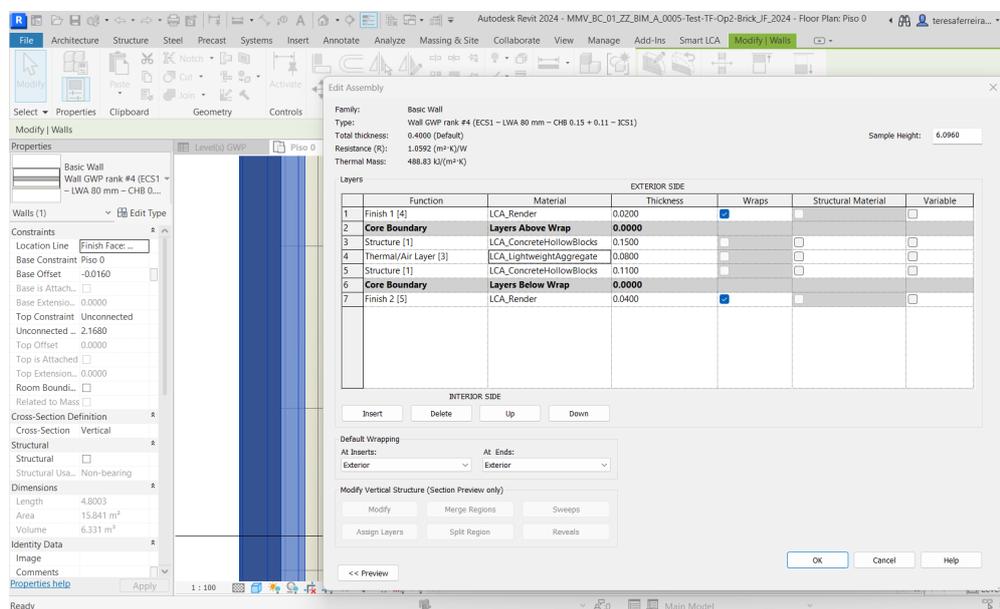
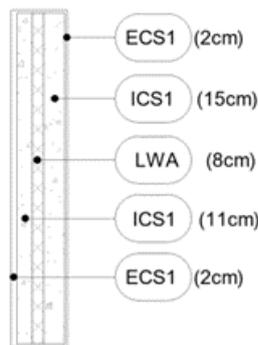


Figura 5 Substituição automática da parede exterior em todo o modelo BIM.

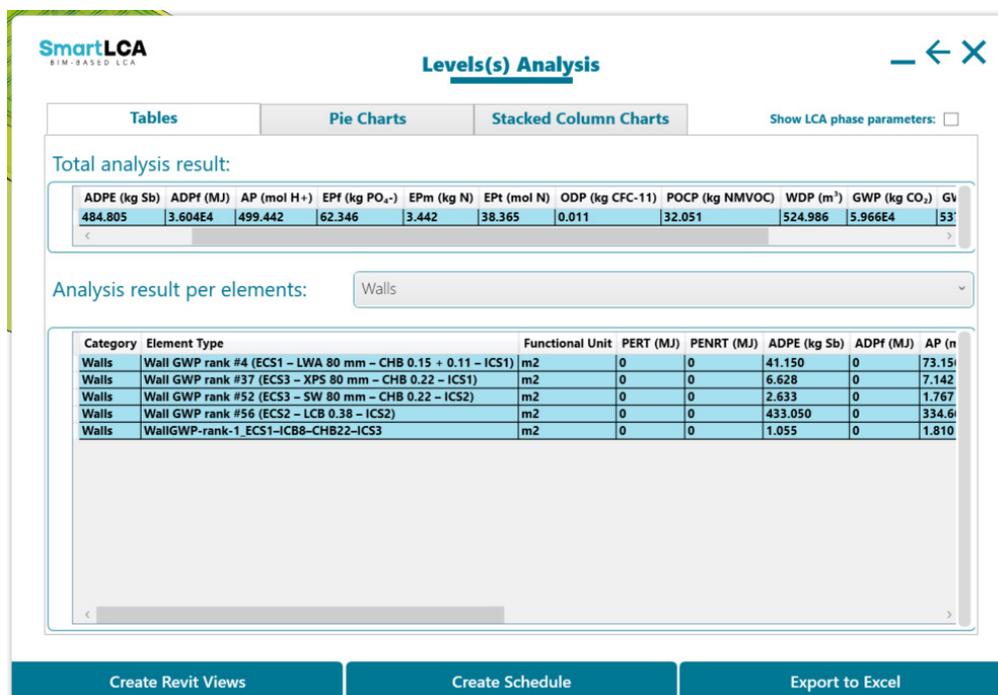
Figura 6
Pormenor da parede selecionada, ranking 4.



Seguidamente o plugin calcula automaticamente os impactos totais no modelo tendo em conta todos os elementos e objetos (paredes, pavimentos, tetos...). Os modelos numéricos necessários para a automatização do cálculo por detrás do plugin podem ser encontrados em publicações anteriores dos mesmos autores [5, 6, 7].

O passo seguinte procede para o cálculo total dos elementos do modelo onde é possível extrair tabelas quantificavas dos impactos (Figura 7) assim como uma vista 3D com um esquema de cores desde o encarnado o maior impacto ao verde menor impacto (Figura 8), assim como gráficos (*dashboards*) por indicador explicitando o impacto de cada elemento (cada parede por exemplo) por categoria da ACV, GWP, AP, ADP, EP, ODP, POCP (Figura 9).

Figura 7
Tabela quantificativa da ACV.



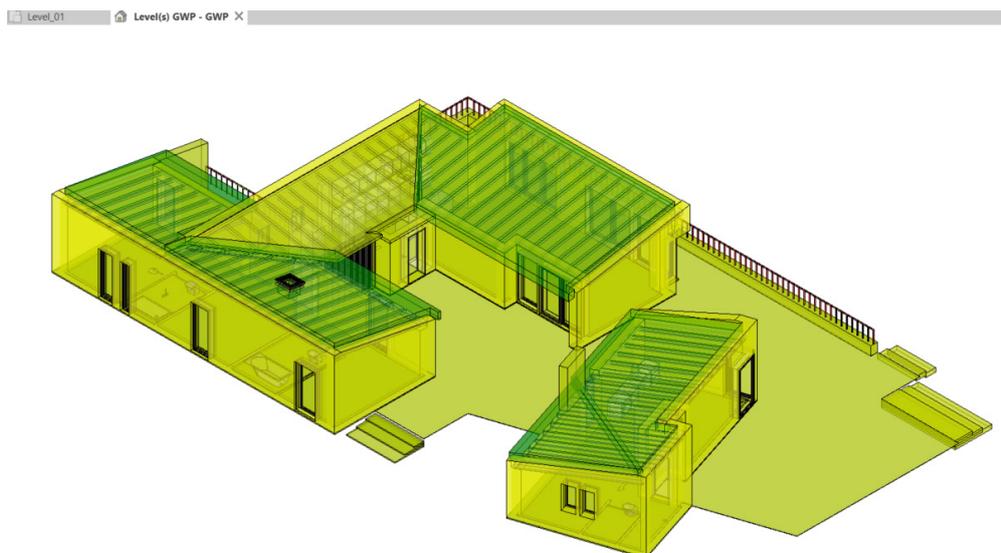


Figura 8
Imagem 3D dos impactos ambientais GWP com escala de cores.

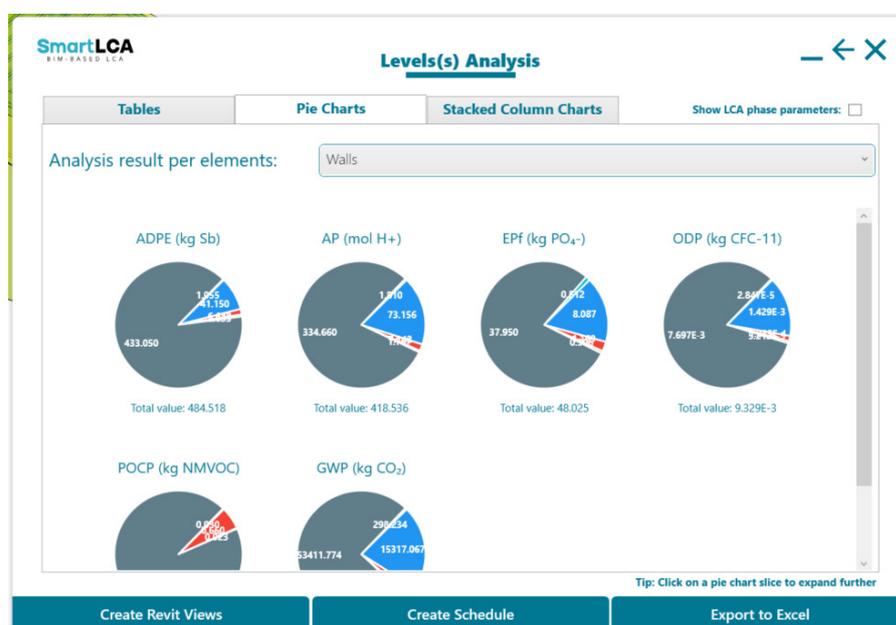


Figura 9
Dashboard dos resultados por indicador.

4. Conclusões

Em conclusão, os resultados consistem na aplicação do ranking numa ferramenta BIM desenvolvida para o efeito, sendo a ferramenta o caso de estudo. Na ferramenta são implementados os sistemas de ranking de paredes assim como o sistema de alteração automática do elemento “Wall” no objeto BIM.

Na secção de resultados foi evidenciada a escolha original do projetista e a abertura do plugin com acesso a uma base de dados de paredes previamente elaborada com o impacto ambiental detalhado em cada indicador ambiental (ADP, AP, EP, GWP, ODP, POCP). A classificação do impacto ambiental de cada parede é escolhida selecionando

o indicador ambiental, neste caso em particular foi escolhido o GWP e uma lista das paredes recomendadas com o ranking aparece. O utilizador seleciona uma parede. No caso de estudo foi escolhida a parede com ranking número 4, porque na escolha foram tidos em conta outros indicadores além dos ambientais para ACV, como a condutibilidade térmica (*U-Value*), o indicador económico expresso em euros, assim como um indicador estético na escolha dos materiais que melhor se enquadra nas exigências dos projetistas, sendo por consequência uma análise que permite ponderar vários critérios, ponderação entre mais que um indicador para a solução final. Ao selecionar a parede o plugin mostra como se posiciona em relação à média dos impactos ambientais de todas as paredes listadas e ao selecionar é substituída automaticamente no modelo BIM. A parede BIM gerada automaticamente está dividida em camadas por matérias que a compõem com espessuras e características reais tornado além de ser uma ferramenta de apoio à decisão a sua rápida substituição em todo o modelo. Para desenvolvimentos futuros sugere-se desenvolvimento de bases de dados para outros elementos da construção com base em rankings, assim como da automação de substituição desses objetos BIM (exemplo, pavimentos, coberturas).

A possibilidade de análise multicritério, a criação de ranking e a substituição automática de elementos BIM contribuem ativamente para a implementação de soluções com menor impacto ambiental nos projetos por parte dos intervenientes no projeto. Reduzindo os tempos necessários para cada ACV, substituição de materiais no modelo e visualização gráfica de resultados, aumentando consequentemente a perceção do impacto de cada escolha em fases de projeto.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio a este trabalho ao *Civil Engineering Research and Innovation* (CERIS), Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa e à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) referência UI/BD/153398/2022.

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] European Commission, “Communication (2020) 662 – A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives,” *Off. J. Eur. Union*, p. 26, 2020.
- [2] European Commission, “Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change,” *Eur. Comm.*, vol. 6, no. 11, pp. 951-952, 2021.
- [3] European Commission. Communication from the European Commission: The European Green Deal. COM (2019) 640, 12 December 2019. Brussels, Belgium.

- [4] R. Santos, A. A. Costa, J. D. Silvestre, and L. Pyl, "Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment," *Automation in Construction*, vol. 103, no. March, pp. 127-149, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.02.011.
- [5] M. T. Ferreira, A. A. Costa, and J. D. Silvestre, "Integração de metodologias de avaliação do ciclo de vida em ferramentas BIM," *4o Congr. Port. Build. Inf. Model.* vol. 1 – ptBIM, pp. 546-557, 2022, doi: 10.21814/uminho.ed.32.46.
- [6] M. T. H. Alves Ferreira, A. A. Costa, and J. D. Silvestre, "Integrated Sustainability Assessment Using Bim," *Acta Polytech. CTU Proc.*, vol. 38, pp. 116-123, 2022, doi: 10.14311/APP.2022.38.0116.
- [7] M. T. H. A. Ferreira, A. A. Costa, H. Brattebø, and R. A. Bohne, "Integrating Level(s) LCA in BIM: A tool for estimating life cycle environmental and cost impacts in design for a case study house", *ECPPM 2022 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2022*. 2023.
- [8] EN15804:2012+A2:2019, Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.
- [9] European Commission, "Communication (2020) 662 – A Renovation Wave for Europe - greening our buildings, creating jobs, improving lives," Off. J. Eur. Union, p. 26, 2020.
- [10] European Commission, "Level(s): Putting circularity into practice," no. 1, 2021.
- [11] N. Dodd and S. Donatello, "Life cycle Global Warming Potential (GWP)," no. October, pp. 1-41, 2020.
- [12] J. D. Silvestre, "Life Cycle Assessment 'From Cradle-to-Cradle' of Building Assemblies: Application to External Walls," vol. I, p. 486, 2012.

Simulação inteligente para redução da pegada de carbono: Integrando BIM, Power BI e custos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.17>

**Thiago Melo¹, Juliana Scanoni¹,
João Carvalho¹, Amanda Pereira¹,
Bruna Forte¹, Alana Stamford¹**

¹ *TPF Engenharia, Recife, Brasil.*

Resumo

O setor da construção civil está entre os principais atores para o aquecimento global, em função das emissões excessivas de dióxido de carbono (CO₂), correspondendo a cerca de 39% do total de emissões no mundo. Nos últimos anos, tem-se estabelecido formas de mitigar os impactos provocados pelas edificações. Ações essas que, de modo geral, otimizam a fase operacional dos empreendimentos e aumentam a proporção da energia envolvida nas fases pré-operacionais, que já representam cerca de 10 a 20% da energia consumida durante todo o ciclo de vida da edificação. Desta forma, a presente pesquisa visa explorar o potencial de redução da pegada de carbono relativa à fase pré-operacional, ainda nas fases iniciais do projeto. Através da integração entre modelo BIM, Power BI e um banco de dados desenvolvido com parâmetros e premissas nacionais, é possível realizar a simulação e a análise de diversos cenários para identificar o impacto de cada escolha de soluções construtivas adotadas para a edificação. A análise é feita a partir de um conjunto de Key Performance Indicators (KPI) que relacionam custos, quantidade de carbono incorporado (CI), mostrando-se capaz de reduzir em média de 10 a 37% da quantidade de CI.

1. Introdução

A indústria da construção civil é considerada a maior geradora de impactos ambientais, pois utiliza quantidades expressivas de energia para extrair, transformar a matéria-prima e transportar o produto final até a obra, dentro dos processos de execução, manutenção e desconstrução de edifícios [1]. Os materiais de construção que mais consomem energia e emitem gases de efeito estufa (GEE) são: cimento, cal, aço, brita, areia e materiais cerâmicos, por utilizarem na sua produção a queima de combustíveis oriundos da biomassa como lenha e serragem, sendo considerada uma das indústrias com maior consumo energético e que mais emite gases. Além do consumo de energia e a emissão de CO₂ durante o processo de extração, há de se considerar o transporte desses agregados [2].

O termo carbono incorporado se refere à soma do impacto de todas as emissões de GEE atribuídas a um material ao longo de seu ciclo de vida.

É importante ressaltar que não existem muitas pesquisas atualmente abordando o período pré-operacional do ciclo de vida de uma edificação, o que ressalta o ineditismo do trabalho desenvolvido. Dentro deste contexto, a aplicação da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) é capaz de agregar aos projetos da construção civil uma variedade de informações, além das geométricas, que conectam desde a fase conceitual com planejamento, custos e execução até o pós-obra do empreendimento [3], possibilitando uma quantificação mais ágil. Bem como, a atualização e/ou inclusão de novos componentes e modelos, garantindo escalabilidade à aplicação da ferramenta criada.

Os dados extraídos do modelo BIM são reunidos em uma ferramenta de avaliação e visualização de dados da Microsoft, o Power BI, que tem como principal objetivo permitir a navegação entre as opções de sistemas construtivos disponíveis no banco de dados estabelecido e o cálculo do KPI associado às quantidades de CO₂ e custos constatadas, facilitando a tomada de decisão em relação às escolhas de projeto e permitindo a retroalimentação do modelo.

2. Revisão da literatura

2.1. Fases da Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) pode ser definida como uma metodologia regulamentada pela ISO 14067 (2018), que é capaz de quantificar potenciais impactos ambientais. Do ponto de vista de uma edificação ou produto de construção, a ACV envolve desde a etapa de extração e produção das matérias primas até o fim de vida da edificação, conforme descrito na Figura 1.

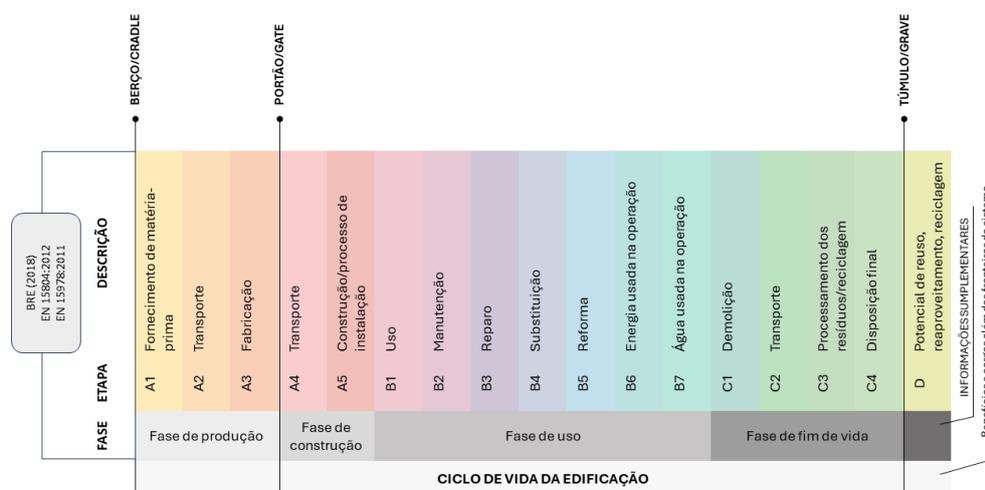


Figura 1
Descrição das etapas que constituem a ACV de uma edificação.

Fonte: Adaptado de BRE (2018) [4], EN 15978 [5]; EN 15804 [6].

Atualmente, existe uma norma específica europeia EN 15978:2011 [5] que segrega em módulos e detalha as principais etapas a serem consideradas no ciclo de vida de uma edificação. O presente estudo contempla apenas a análise do carbono incorporado nas fases de A1 a A5.

2.2. Pegada de carbono

A pegada de carbono pode ser definida como a quantificação, normalmente em toneladas (t), de emissão de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) no ciclo de vida de um dado produto, processo ou serviço. Esta informação também é utilizada no momento de idealização do projeto de compensação. De acordo com Tavares [7], a energia embutida (EE) ou energia incorporada (EI) corresponde ao conjunto de insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados no transporte e na fabricação de materiais utilizados na construção da edificação.

Um crédito de carbono representa uma unidade de medida que corresponde à redução ou à remoção de uma tonelada métrica de dióxido de carbono (ou gases de efeito estufa equivalentes) da atmosfera. É normalmente gerado por empresas que reduzem emissões ou removem dióxido de carbono por meio de projetos de energia renovável, iniciativas de reflorestamento ou programas de eficiência energética. Esses projetos são verificados e certificados de forma independente para garantir sua legitimidade e benefícios ambientais.

Para efetuar uma quantificação transparente dos resultados é necessário entender os impactos provocados pelos materiais produzidos. As Declarações Ambientais de Produto (DAP) ou *Environmental Product Declarations* (EPD) apresentam informações verificadas ao longo do ciclo de vida dos produtos, sendo elaboradas para todos os tipos de bens e serviços. O EPD Brasil faz parte do programa global *International EPD*

System para declarações ambientais com base na NBR ISO 14025 e na EN 15804. Atualmente, conta com a participação de 45 países e mais de 1.500 EPD em seu banco de dados.

2.3. Regionalização dos dados

A necessidade da utilização de dados regionalizados foi discutida por Oliveira [8] em que, a partir de levantamentos de processos e insumos com diferentes fábricas de agregados, constatou-se grande variabilidade entre resultados para energia incorporada e emissões de CO₂ entre empresas, concluindo a não homogeneidade de processos e insumos.

Segundo Kozloski [9], ainda existem poucos dados sobre levantamentos energéticos de materiais e processos na literatura brasileira voltados para a construção civil, e os disponíveis trazem informações insuficientes para avaliação e adoção. Desta forma, o Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção (SIDAC) foi desenvolvido com o intuito de mudar essa realidade. Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), financiado pelo Instrumento de Parceria da União Europeia em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente, Conservação da Natureza, Segurança Nuclear e Defesa do Consumidor (BMUV), o SIDAC permite calcular indicadores de desempenho ambiental da extração até à transformação (A1-A3) da fábrica para produtos de construção, com base em dados brasileiros verificados.

A utilização do SIDAC como principal fonte de dados, tem por objetivo regionalizar os parâmetros de cálculo utilizados, conferindo maior confiabilidade aos dados analisados diante do cenário nacional. Entretanto, até o momento presente, a ferramenta se encontra em fase inicial de desenvolvimento (teve início em 2022), e, apesar de já contribuir fortemente com o presente trabalho, ainda deixa várias lacunas, que foram supridas com a consulta a literaturas relacionadas ao tema e a DAP de diversos fornecedores.

Como a análise, aqui proposta, conta com um binômio que correlaciona o impacto mensurado em emissões de dióxido de carbono equivalente, e os custos, a outra referência adotada para esta vertente foi o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), consolidado e aceito em todo o território brasileiro, como referência de custos e contratação pública para serviços de construção civil. O sistema conta com uma base de dados vasta que contempla, por data de aferição e localização geográfica dentro do país, serviços tradicionalmente executados em obras civis, além do descritivo dos coeficientes utilizados de mão de obra, equipamentos e insumos necessários para a realização de determinados serviços de forma unitária. A partir desta quantificação unitária do volume de material, é possível aplicar coeficientes CO_{2eq}.

3. Metodologia

A fim de ensaiar a metodologia, foi escolhida uma edificação do tipo comercial, térrea, com uma área construída de 1.368,48 m², a ser implantada na cidade de São Paulo. O projeto básico foi modelado no software Autodesk Revit, seguindo a metodologia BIM e os critérios necessários para a análise do carbono incorporado. Para a quantificação dos materiais incorporados na edificação, realizou-se a categorização em sistemas construtivos, os quais foram apresentados a partir de *dashboard* do Power BI, e listados como: paredes internas, paredes externas, piso interno, piso externo, telhado, forro e esquadrias, estas últimas subdivididas em portas e janelas.

Em paralelo, desenvolveu-se um banco de dados que relaciona informações de custos e coeficientes de emissão de carbono. Os dados relativos aos custos, bem como toda a estrutura de quantificação unitária de cada alternativa de sistema construtivo, foram gerados a partir de composições de custos unitários apresentados pelo SINAPI. E, os coeficientes de emissão de CO_{2eq} foram, também, adaptados às unidades previstas no SINAPI.

Após o levantamento dos dados, realizou-se um cruzamento das informações apuradas, possibilitando uma análise abrangente do empreendimento e de suas principais categorias de sistemas construtivos em relação ao carbono incorporado, ou seja, o carbono emitido na fase pré-operacional (A1-A5). Em seguida, comparou-se a situação originalmente concebida através do binômio custo x impacto. Essa avaliação foi viabilizada pela monetização dos quantitativos de CO_{2eq}. Por fim, com essas informações, é possível realizar uma série de análises comparando a quantidade de carbono obtida e os componentes do binômio custo x impacto, para alcançar a solução otimizada.

3.1. Parâmetros de projeto e premissas adotadas

Conforme mencionado na seção anterior foi considerado o SINAPI para determinação dos custos físicos de cada sistema construtivo. Para tal, considerou-se a data-base: outubro/23, para o estado de São Paulo. E os coeficientes de emissão CO_{2eq}, que correspondem às fases do A1 até o A3, ou seja, toda a energia dedicada à extração, ao beneficiamento e aos transportes internos relativos à produção já está incorporada dentro dos fatores de emissão utilizados. A equação 1 calcula as emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado:

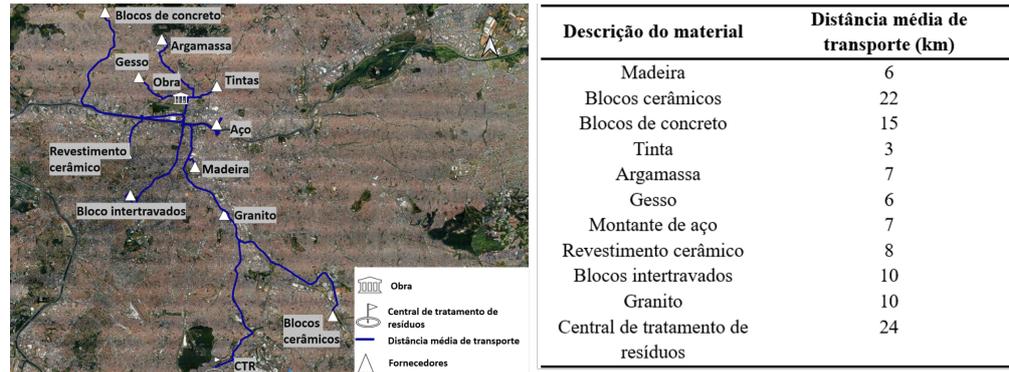
$$ECO_{2ii_n} = q_n \times FE_{CO_2} \quad (1)$$

Onde:

- ECO_{2ii} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado inicial;
- n – material de construção discriminado;
- q – quantidade utilizada do material de construção (kg);
- FE_{CO₂} – fator de emissão de CO₂ do material (kgCO₂/kg).

A fase A4 de cada sistema construtivo considerado no estudo, correspondente ao transporte do fornecedor do material à obra, foi incluída considerando um coeficiente de transporte adotado por Kozloski [9], 0,0354 kgCO₂-L/t.km, que considera exclusivamente as distâncias, dos fornecedores à obra, sendo trafegado com veículo cheio da fábrica ao local da obra e vazio do local da obra à fábrica, ou seja, com retorno vazio. Considerando os trajetos viáveis mais próximos ao local de obra considerado para cada material, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2
Distância média de transporte dos fornecedores à obra.



A equação 2, proposta pela referida autora, foi alterada. Suprimiram-se as perdas, haja vista que já são consideradas nos quantitativos unitários introduzidos no SINAPI.

$$ECO_{2itr_n} = q_n \times d_n \times CECO_2T \quad (2)$$

Onde:

ECO_{2itr} – emissões estimadas de dióxido de carbono incorporado de transporte;

n – material de construção discriminado;

q – quantidade de material de construção utilizado (kg);

d – distância entre o portão da fábrica e estabelecimento/estabelecimento comercial e obra;

CECO_{2T} – coeficiente de emissão de CO₂ pelo transporte

Já a fase A5, que corresponde às emissões geradas na incorporação dos materiais na obra, seja pelo consumo de energia elétrica dos equipamentos necessários, seja pelo consumo de combustíveis, aplicados na sua instalação ou execução, foram contabilizados a partir do SINAPI e aplicados os fatores de emissão de CO_{2eq} disponibilizados no SIDAC, para seus respectivos insumos.

As perdas envolvidas no processo de execução da obra são incluídas nos próprios coeficientes do SINAPI, não sendo necessário serem estimadas à parte. No entanto, a emissão relativa aos transportes dos materiais excedentes (resíduos de construção) até sua destinação final (Centros de Tratamento de Resíduos) foi contabilizada a

partir de uma taxa igual a 150kg/m² de área construída, conforme indicado em Pinto [10] e aplicada na equação 2.

Conforme mencionado anteriormente a forma de equiparar os custos físicos com os impactos de carbono foi através monetização das emissões de CO_{2eq}. Como ainda não há um mercado regulado de carbono no Brasil que determine um preço nacional regulamentado, foi considerado o valor obtido a partir de cotação, realizada em maio de 2023, com empresas de fornecimento de créditos de carbono certificados a partir da execução de projetos de reflorestamento, cujo valor unitário médio corresponde a R\$ 117,92/t CO_{2eq}.

3.2. Cenários

Assim, para destacar o potencial do conjunto de ferramentas desenvolvido, foram estabelecidos cinco cenários distintos, buscando observar extremos nas análises e identificar um ponto ótimo que maximize os aspectos abordados. No entanto, é importante ressaltar que os cenários apresentados são apenas exemplos de aplicação, ou seja, é possível definir análises com enfoques mais personalizados.

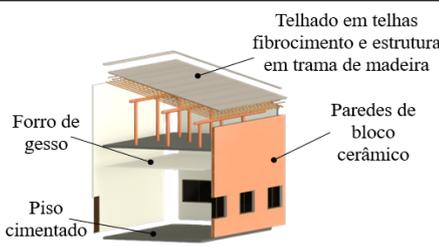
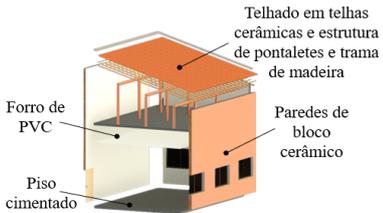
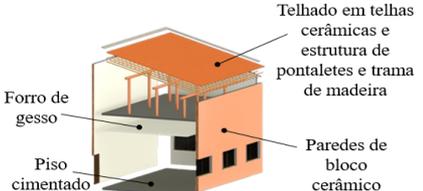
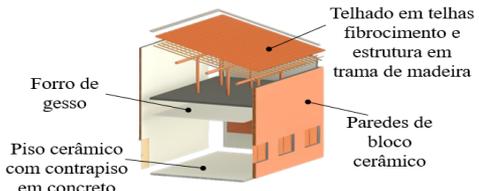
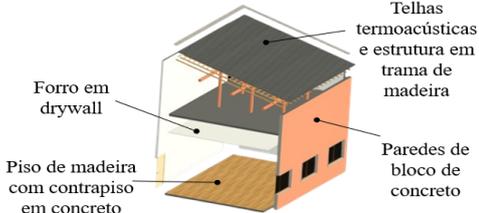
A premissa adotada visa subsidiar a tomada de decisão nas fases de projeto, considerando custos e impacto ambiental. A comparação entre os indicadores de custo físico, custo de carbono incorporado e total de CO_{2eq} apurado na edificação resultante, torna mais evidente o impacto da adoção de cada material no contexto do empreendimento, possibilitando atingir o ponto de equilíbrio entre a eficiência do material em termos do binômio estabelecido e eficiência técnica do elemento, de acordo com sua proposta e uso na edificação.

Na tabela 1, estão descritos os cenários modelados e avaliados na simulação, levando em consideração a envoltória do edifício, com foco nos principais grupos de materiais contribuintes para o carbono incorporado. Todos os cenários foram comparados com o projeto original (*baseline*), que possuía as seguintes características: envoltórias em blocos cerâmicos de 23cm e 15cm de espessura, externas e internas respectivamente; cobertura em telha cerâmica; piso com revestimento cerâmico internamente e acabamento cimentado externamente; forro em gesso; portas e janelas em madeira. De acordo com a localidade do estudo de caso, não foi considerada a utilização de isolantes térmicos na envoltória da edificação.

Diante deste contexto, faz-se necessário definir indicadores abordados na seção 4:

- Intensidade: corresponde à quantidade de tonelada de CO_{2eq} obtida para um determinado cenário por m² de área construída da edificação em avaliação (t CO_{2eq}/m²);
- Custo total: compreende o custo físico, em reais, dos materiais com a adição do custo referente ao carbono incorporado na extração, fabricação, transporte e execução de um dado material ou conjunto de materiais.

Tabela 1: Descrição de cenários propostos.

Cenário	Descrição	Tipo de uso
1	Este cenário enfatiza a minimização dos custos, buscando escolher materiais mais acessíveis financeiramente. Com o intuito de equilibrar a qualidade dos materiais e a economia financeira.	 <p>Telhado em telhas fibrocimento e estrutura em trama de madeira</p> <p>Paredes de bloco cerâmico</p> <p>Forro de gesso</p> <p>Piso cimentado</p>
2	Este cenário foca na redução do impacto ambiental, com a minimização da emissão de CO ₂ ^{2eq} . Buscando identificar e selecionar materiais que tenham menor pegada de carbono, promovendo práticas sustentáveis na construção.	 <p>Telhado em telhas cerâmicas e estrutura de pontalotes e trama de madeira</p> <p>Paredes de bloco cerâmico</p> <p>Forro de PVC</p> <p>Piso cimentado</p>
3	O terceiro cenário buscou um ponto ótimo que equilibre tanto os custos quanto o impacto ambiental. Aqui, a análise procura identificar materiais que, além de serem economicamente viáveis, possuam uma eficiência ambiental considerável.	 <p>Telhado em telhas cerâmicas e estrutura de pontalotes e trama de madeira</p> <p>Paredes de bloco cerâmico</p> <p>Forro de gesso</p> <p>Piso cimentado</p>
4	No quarto cenário, o objetivo é avaliar a construção nos aspectos de custo e impacto ambiental, empregando um sistema construtivo conservador, mais tradicionalmente aceito.	 <p>Telhado em telhas fibrocimento e estrutura em trama de madeira</p> <p>Paredes de bloco cerâmico</p> <p>Forro de gesso</p> <p>Piso cerâmico com contrapiso em concreto</p>
5	Este cenário, procura avaliar a construção nos aspectos de custo e impacto ambiental, utilizando um sistema construtivo com materiais e métodos inovadores, pensando numa construção mais enxuta e limpa.	 <p>Telhas termoacústicas e estrutura em trama de madeira</p> <p>Paredes de bloco de concreto</p> <p>Forro em drywall</p> <p>Piso de madeira com contrapiso em concreto</p>

4. Resultados e discussões

O presente artigo visa explorar e analisar criticamente os desdobramentos obtidos nos cinco cenários propostos, delineando abordagens distintas que visam mensurar o impacto de cada um deles, através das alternativas de seleção dos materiais de construção civil. Cada cenário foi elaborado para abordar possibilidades específicas de análise ao usuário, permitindo uma compreensão aprofundada dos trade-offs entre custos financeiros e impactos ambientais associados a diferentes escolhas de materiais.

Na Figura 3, é possível observar os custos finais de cada um dos cenários compostos pelos custos físicos, referentes à execução, e os custos convertidos a partir da quantificação de CO₂. Observamos uma variação máxima de 49,03% entre todos os cenários estudados, referente aos custos totais, o que pode representar um incremento significativo no valor global do empreendimento. Como relatado anteriormente, o cenário 1 demonstra o menor custo total, R\$ 485.211,31, o que representa 40,67% do custo do projeto originalmente modelado, aqui representado como *baseline*.

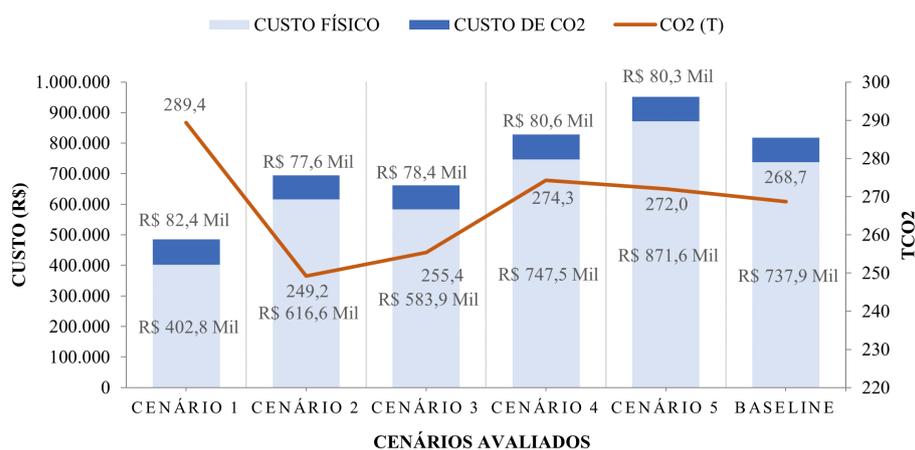


Figura 3
Composição dos custos e emissões por cenário.

Entretanto, ao analisar as emissões, é possível observar que o mesmo cenário 1 apresenta, em contrapartida, o maior quantitativo de CO_{2eq}. Enquanto que o cenário 2 que apresenta o menor valor de emissão, cerca de 40,26t menos de CO_{2eq} em comparação ao cenário 1, traz ainda uma redução de custo total de cerca de 17,80% em relação ao *baseline*.

Enquanto o cenário 3, o qual buscava uma otimização desses parâmetros, apresenta apenas 2,52% de aumento no quantitativo de CO_{2eq}, em relação ao cenário 2. E tendo ainda uma redução de 4,83% de custo total em relação ao cenário 2 e cerca de 19,03% em relação ao *baseline*. Entre os cenários 2 e 3, foram alterados os forros e as portas, pois identificou-se que havia elementos que possuíam quantitativos de emissão de CO_{2eq} equiparáveis com um custo físico relativamente menor e desta forma, pode-se obter essa pequena redução de custo total, otimizando as soluções.

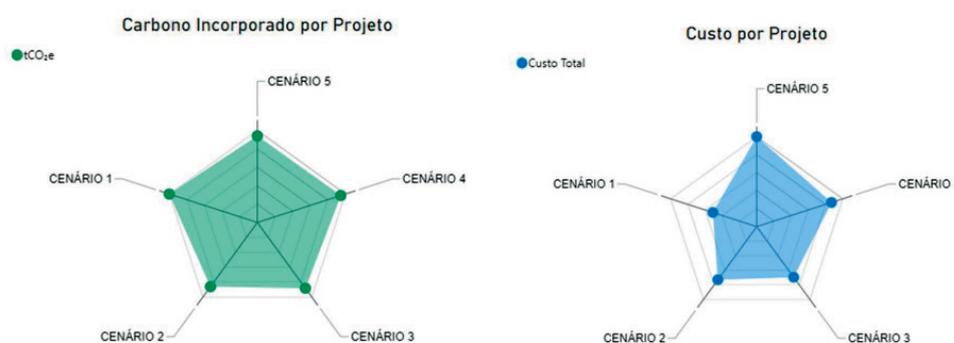
Ao compararmos os cenários 4 e 5 que confrontam a utilização de materiais mais tradicionais e mais “inovadores” respectivamente, é possível observar um significativo aumento no custo de implantação para o cenário 5, sendo 16,31% mais oneroso se comparado ao *baseline*, além disso, constata-se um aumento de impacto em torno de 9,17% em relação ao cenário 2. Enquanto que o cenário 4, apesar de um custo total próximo aos dos cenários 2 e 3, ele possui uma emissão de CO_{2eq} 10,07% maior que o cenário 2.

O parâmetro intensidade de CO_{2eq} é linearmente proporcional ao quantitativo de emissão e tem as mesmas configurações e tendências de aumento e redução conforme

observado na Figura 3. Entretanto, é uma boa referência para um benchmarking com outras edificações, outros projetos e estudos. No presente trabalho as Intensidades de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ variaram de $0,13 \text{ t CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$ no cenário 1 a $0,08 \text{ t CO}_{2\text{eq}}/\text{m}^2$, no cenário 2, tomando-se em consideração os cenários máximos e mínimos. Salientando-se que apenas as soluções construtivas relacionadas à disciplina de arquitetura são contempladas nestes resultados, restritas às fases de ciclo de vida, A1 a A5.

A Figura 4 ilustra o comparativo entre os cenários estudados trazendo uma ótica do total das emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ e dos custos totais. Onde é possível observar que as variações de quantitativo de emissões são equiparáveis entre si e em contrapartida, os custos totais apresentam variabilidades mais acentuadas, ratificando as discussões levantadas anteriormente.

Figura 4
Comparação entre diagramas de teia das emissões dos custos por cenário.



5. Conclusão

Através da análise detalhada desses cenários é possível obter insights valiosos para o projetista, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões, independente de que viés de análise seja tomado. Ao analisarmos apenas a vertente de custos constatamos a possibilidade de redução de custos de até 49%, já com um viés inclinado apenas à questão ambiental, observou-se a possibilidade de redução de até 9,17% em emissão de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, dentre os cenários analisados e 7,28% em relação ao *baseline*.

Vale salientar que todas as soluções construtivas apresentadas no presente trabalho, cumprem tecnicamente a funcionalidade a que se propõem. Entretanto, obviamente, os aspectos estéticos e arquitetônicos precisam ser analisados e, a partir da ferramenta apresentada, observamos a possibilidade de mensurar o impacto de cada solução construtiva dentro do processo, garantindo uma tomada de decisão mais consciente no desenvolvimento da elaboração dos projetos.

Referências

- [1] H.F. Graf, M.H.C. Marcos, S.F. Tavares, S. Scheer, “Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO_2 incorporado” em *XIV ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Juiz de Fora, 29 a 31 Outubro, 2012

- [2] E. Dezen-Kempton, et al. "O uso de BIM na avaliação da energia incorporada e emissões de CO₂ de materiais reciclados e convencionais" em *ENTAC 2018 XVII – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Foz do Iguaçu, 2018.
- [3] C. 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*. 1ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- [4] BRE. BRE Global Methodology for the Environmental Assessment of Buildings using EN 15.978:2011. PN 326 Rev 0.0. BRE Global Ltd: Londres, 2018.
- [5] CEN/TC 350 – SUSTAINABILITY OF CONSTRUCTION WORKS (Europe). 08/11/2011. EN 15978:2011: Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method, [S. l.], 2011.
- [6] CEN/TC 350 – SUSTAINABILITY OF CONSTRUCTION WORKS (Europe). 29/10/2019. EN 15804:2012+A2:2019: Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products, [S. l.], 2019.
- [7] S.F. Tavares, "Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras". Tese de Doutorado, Florianópolis, UFSC, 2006.
- [8] L. S. Oliveira, "Avaliação do ciclo de vida de blocos de concreto do mercado brasileiro: alvenaria e pavimentação," Dissertação de Mestrado, São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2015.
- [9] C.L. Kozloski, "Emissão de CO₂ de materiais de construção civil no Brasil: Estimativas na etapa projetual de edificações" Dissertação de Mestrado, Santa Maria, UFSM, 2020.
- [10] T.P. Pinto, "Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana," Tese de Doutorado, São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil, 1999.

Uma ferramenta baseada em BIM para a avaliação expedita do carbono incorporado utilizando o sistema de classificação SECCLasS

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.18>

Sara Parece¹, Tiago Costa²,
Tiago Gonçalves³, Paulo Rodrigues³,
Ricardo Resende⁴

¹ Instituto Universitário de Lisboa (Iscte-IUL), 1649-026 Lisboa,
0000-0001-8864-7391

² Zumerlink, Lda, 2005-246 Santarém,
0000-0002-7345-4906

³ Quadrante Engenharia, 2614-523 Lisboa

⁴ Instituto Universitário de Lisboa (Iscte-IUL), 1649-026 Lisboa,
0000-0002-2155-5625

Resumo

Para alcançar a neutralidade carbónica é essencial quantificar o impacto ambiental operacional e incorporado do ciclo de vida dos edifícios. A tecnologia BIM permite otimizar os processos da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como a automação detalhada da extração de quantidades dos modelos. Mas enfrenta desafios como a falta de interoperabilidade entre ferramentas BIM e ACV, a morosa edição dos dados ambientais, estratégias de modelação e gestão de informação não-específicas para este uso. Por outro lado, a ausência de dados ambientais “*machine-readable*” e uma linguagem comum dificultam o mapeamento entre modelo e bases de dados de ACV. O método proposto aborda estes desafios através do cálculo do Potencial de Aquecimento Global da construção, a partir de modelos classificados com o sistema de classificação português SECCLasS, derivado do Uniclass. O SECCLasS estabelece a ligação entre o modelo BIM e a base de dados de ACV, fornecendo uma estrutura de dados e a correspondência automática entre elementos de construção e impactos ambientais, tornando o processo expedito e rápido. A ferramenta é testada em modelos de arquitetura e estrutura de um edifício projetado pela Quadrante Engenharia, identificando como a granularidade geométrica e informativa dos modelos BIM e métodos de modelação influenciam os processos e resultados, e aponta soluções. Conclui-se

que a ferramenta é viável desde as fases iniciais do projeto, permite a avaliação de modelos desenvolvidos sem necessidade de remodelar opções de construção e o processo semiautomático é contínuo ao longo do projeto, garantindo o controle de dados e a integração com os articulados.

1. Introdução

O setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) desempenha um papel significativo nas emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e no consumo de energia na Europa. Diante desse cenário, os países europeus têm concentrado esforços no combate da pobreza energética, por meio da produção de energia limpa e uso de sistemas construtivos mais eficientes. No entanto, o estudo [1] revela que edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB) podem apresentar um aumento de 25% nas emissões de GEE incorporadas, destacando a importância de considerar os impactos ao longo do ciclo de vida dos edifícios.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é a metodologia estabelecida para quantificar o impacto ambiental dos produtos durante as fases de produção, construção, utilização e fim de vida [2].

Esta abordagem popularizou-se como método obrigatório de avaliação pós-projeto dos sistemas de certificação de sustentabilidade de edificações, como o BREEAM® e o LEED® e a metodologia europeia Level(s). A ACV de edifícios envolve a multiplicação do mapa de quantidades e trabalhos (MQT) e das estimativas de consumo energético com valores de impacto ambiental extraídos de bases de dados (BD) compostas por Declarações Ambientais de Produtos (DAPs) e/ou dados genéricos e médios sobre materiais, produtos ou processos de construção. No entanto, a definição do MQT e a seleção dos dados ACV adequados é desafiante, e os extensos requisitos de informação resultam no custo elevado da certificação da sustentabilidade [3]. Por consequência, a ACV geralmente é realizada quando a informação é definitiva, o que limita decisões de grande impacto no projeto.

As ferramentas digitais baseadas em BIM (*Building Information Modelling*) podem reduzir o esforço adicional necessário da ACV e acelerar o processo. Existem exemplos de integração BIM-ACV que produzem resultados rápidos e fiáveis quando atendidos determinados requisitos, e.g. plug-in *Tally Autodesk Revit®*, *OneClick LCA®*.

No entanto, existem várias limitações que impedem a plena utilização dos benefícios da ACV baseada em BIM, como o nível de informação geométrica e não-geométrica exigido que pode não ser alcançado devido a conflitos com outros usos BIM ou economia de modelação. Embora a norma ISO 19650-1:2018 afirme que esses requisitos devem ser definidos de acordo com os usos BIM e estabelecidos no Plano de Execução BIM, a análise da ACV ainda é raramente considerada nas fases iniciais de projeto. Por outro lado, a falta de dados ambientais normalizados, estrutura de dados e nomenclatura universal, complica o processo de identificação dos impactos ambientais nas BD de ACV.

Dadas estas exigências, integrar o processo de ACV nos fluxos de trabalho BIM já implementados nos gabinetes de projeto, como a estimativa de custo, torna-se vantajoso.

Esta investigação aborda estes desafios através do desenvolvimento de uma metodologia ACV baseada em BIM flexível, o que significa que pode evoluir desde a fase de conceito até à execução de projeto e aplicada a modelos desenvolvidos de forma heterogénea. A calculadora estima o Potencial de Aquecimento Global (PAG), a partir de modelos classificados com o sistema de classificação português SECCLasS – *Sustainability Enhanced Construction Classification System*, derivado do UniClass [5], considerando diferentes níveis de desenvolvimento, granularidade e métodos de modelação BIM.

Testámos o método desenvolvido juntamente com a ferramenta *OneClick LCA*®, utilizando modelos de arquitetura e estruturas de um edifício projetado pela Quadrante Engenharia. O objetivo é abordar as dificuldades associadas à implementação de estudos ACV em modelos que refletem as práticas e processos BIM atuais do gabinete. Além disso, procurámos identificar estratégias para otimizar a tomada de decisão e a comparação rápida de diferentes soluções, sem a necessidade de as remodelar, o que pode ser bastante trabalhoso para as empresas.

Por fim, discute-se o potencial do método desenvolvido para ultrapassar as limitações identificadas, destacando as questões e soluções criadas durante o processo experimental.

2. Metodologia baseada no sistema de classificação SECCLasS

Propomos um método BIM para calcular o PAG considerando os módulos A1-A3 e B4, tal como definido na norma EN 15978, a partir de modelos BIM classificados com o sistema SECCLasS. Os códigos SECCLasS conectam o modelo à informação técnica e ambiental armazenada numa BD externa sobre sistemas construtivos, produtos e materiais, evitando a necessidade de recombinar os dados geométricos e de ACV durante as alterações ao projeto.

O sistema de classificação categoriza sistematicamente e com um grau de detalhe evolutivo os tipos de objetos de uma construção, neste caso, descritos num modelo BIM com um código único.

Durante a fase inicial do projeto, quando apenas informação genérica sobre os sistemas de construção está disponível, propomos estabelecer um catálogo de soluções tipo e armazenar as quantidades relativas sobre produtos e materiais numa BD. Por exemplo, num sistema de parede de tijolo, podemos ter 10% de argamassa, 10% de reboco e 80% de tijolos cerâmicos em massa. A ligação entre produtos e materiais é feita através do código, permitindo obter as quantidades de produtos e materiais a partir das quantidades absolutas do objeto BIM (e.g., m³, m², m). Essa abordagem é semelhante com a simulação de edifícios utilizando modelos térmicos, frequentemente chamados de modelos "shoe-box", compostos por superfícies 2D. As variantes de material são armazenadas externamente ao modelo, permitindo avaliar soluções construtivas sem alterar o modelo original.

Pretende-se que à medida que projeto progrida e o nível de desenvolvimento (LOD) aumenta, sejam atribuídas aos objetos BIM classificações e dados de ACV mais específicos. O método pode ser aplicado diretamente a modelos classificados com Uni-class® e SECClasS, devido à compatibilidade de códigos entre ambos.

2.1. Método de cálculo

A primeira etapa identifica as informações necessárias para o cálculo do PAG (A1-3 e B4), os dados disponíveis nos modelos BIM e os dados recolhidos nas BD de ACV.

Os módulos A1-3 correspondem à "fase de produto" do edifício, ou seja, o PAG devido à extração de materiais, processamento e fabrico de produtos de construção, como definido na norma EN 15978. Abrange os processos "do berço ao portão" de operações e materiais de construção. O PAG A1-3 é determinado multiplicando a quantidade de cada produto ou material pelo seu impacte ambiental, conforme a Equação (1).

$$PAG_{A1-3} = \sum_{\alpha=1}^i (Q_{\alpha}^M \times PAG_{\alpha}^M) \quad (1)$$

onde: PAG_{A1-3} – Potencial de Aquecimento Global (A1-3); Q_{α}^M – Quantidade do material α (que pode ser retirado do modelo); PAG_{α}^M – Potencial de Aquecimento Global (A1-3) do material α (retirado da BD de ACV); i Número de materiais.

A fase B4 "Fase de utilização: Substituições" diz respeito à substituição de componentes que têm de ser substituídos pois são danificados e não podem ser reparados, ou que atingem o fim de vida especificado pelos fabricantes durante o Período Referência de Estudo (RSP) da ACV. O módulo B4 é calculado através da avaliação do número de substituições (N_R) durante a fase operação do edifício, arredondado para o número inteiro seguinte, conforme a Equação (2).

$$PAG_{B4} = \sum_{\alpha=1}^i (Q_{\alpha}^M \times N_R \times PAG_{\alpha}^M) \quad (2)$$

$$N_R = \left(\frac{RSP}{RSLP} - 1 \right)$$

onde: PAG_{A1-3} – Potencial de Aquecimento Global (A1-4); Q_{α}^M – Quantidade do material α (pode ser retirado do modelo); PAG_{α}^M – Potencial de Aquecimento Global (A1-3) do material α (retirado da BD de ACV); i Número de materiais existentes; N_R – número de substituições durante a fase de operação com base na durabilidade dos materiais (sem considerar as reparações); RSP período referencia da ACV, por exemplo, 60 anos; $RSLP$ vida útil estimada / de referência do material (pode ser retirada da BD da ACV).

O MQT contendo as quantidades de todos os materiais e produtos pode ser extraído de modelos BIM e as informações sobre o impacte ambiental de BD de ACV. As DAPs indicam a vida útil estimada dos materiais ou produtos. Quando esta informação está

indisponível podem ser usados os valores de referência disponíveis nos manuais da metodologia Level(s).

2.2. "Linguagem comum" através do sistema de classificação

A segunda etapa estabelece uma "linguagem comum" entre a informação do modelo BIM, os dados ambientais e o motor de cálculo. É atribuído um código de classificação a todos os objetos BIM a incluir na análise da ACV. Utilizam-se quatro tabelas do SECCLasS, que descrevem os elementos de construção com um grau de pormenor evolutivo. Nas fases iniciais, os modelos são classificados principalmente com as tabelas Elementos e Funções (EF) e/ou Sistemas (Ss). Os Produtos (Pr) e os Materiais (Ma) são geralmente atribuídos aos objetos BIM na fase de projeto de execução. Muitas famílias de objetos BIM já incluem códigos Unifomat ou Uniclass, estes parâmetros de classificação são aplicados ao nível do tipo e não da instância.

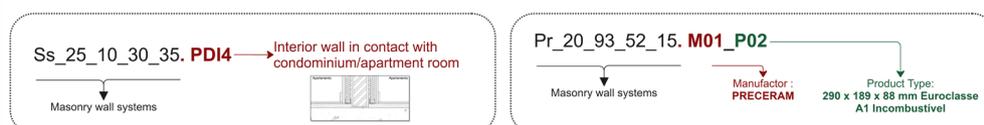
As ferramentas BIM já incluem atributos nativos para esta informação, como o parâmetro "Assembly Codes" ou o "Keynote" no Autodesk Revit® que são frequentemente usados para etiquetar objetos com diversas tabelas de classificação expressas numa árvore hierárquica num ficheiro ASCII, tal como proposto por L. Vieira et al. [6]. Add-ons e outras estratégias de automatização podem facilitar a adição de códigos de classificação aos objetos, como a *Standardized Data Tool* para Revit, é possível mapear categorias e códigos para que a classificação seja ligeiramente automatizada.

Neste estudo, os objetos BIM são classificados através de parâmetros partilhados, e os materiais são classificados no parâmetro "Keynote". As tabelas de classificação em formato Excel estão disponíveis no site projeto SECCLasS (<https://secclass.pt/autodesk-classification-manager/>). São usados seis parâmetros partilhados para armazenar os códigos e descrições, criados pelo add-on de classificação ou manualmente pelo utilizador. Os objetos BIM são classificados com os códigos das tabelas, dependendo do LOD e do método de modelação BIM (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação de uma parede de alvenaria com o sistema de classificação SECClass de acordo com diferentes métodos de modelação e LOD

Método	Family & Type Parameter	Keynote Material Parameter
Objetos com baixo LOD, sem informação sobre materiais	ClassificacaoSecclassEFNumero: EF_25_10_25	Nenhum
Objetos BIM que representam um único elemento de construção, com diferentes camadas/materiais de uma biblioteca interna de materiais BIM.	ClassificacaoSecclassEFDescricao: Paredes exteriores ClassificacaoSecclassSsNumero: Ss_25_13_50 ClassificacaoSecclassSsDescricao: Sistemas de paredes de alvenaria	Keynote (p/cada camada): Pr_35_31_64 – Reboco e estuque Ma_40_85_53 – Lã de rocha Pr_20_93_52_15 – Tijolos de cerâmica Pr_25_71_35 – Placas de gesso
Objetos com LOD alto, que representam apenas um material/camada de um elemento de construção.	ClassificacaoSecclassEFNumero: EF_25_10_25 ClassificacaoSecclassEFDescricao: Paredes exteriores ClassificacaoSecclassSsNumero: Ss_25_13_50 ClassificacaoSecclassSsDescricao: Sistemas de paredes de alvenaria ClassificacaoSecclassPrNumero: Pr_25_57_06_53 ClassificacaoSecclassPrDescricao: Isolamento de Lã de rocha	Nenhum

Apesar do SECClass ser detalhado, especialmente na tabela de Produtos, não é específico o bastante para distinguir todos os materiais ou fabricantes. Seguimos a estratégia de Vieira et al. [6], acrescentando sufixos que introduzem informação adicional. Estes níveis podem incluir um código para o fabricante na tabela de Produtos (Pr) e um código para Sistemas (Ss) específicos como parede de alvenaria exterior 1, como ilustra a Figura 1.

**Figura 1**
Exemplo de código de classificação reestruturado através da adição de sufixos ao código SECClass original.

2.3. Requisitos de informação de acordo com as fases de projeto e QTO Top of Form

A terceira etapa visa cumprir os requisitos de informação da ACV durante o QTO. É necessário extrair um MQT do modelo, identificando o tipo de elemento de construção e os produtos e materiais que o compõem. A precisão da análise LCA depende da exatidão da MQT. Embora se aceite que o modelo simplifica a realidade, se este contiver erros grosseiros, a ACV será imprecisa à mesma escala.

As técnicas de modelação destinadas a produzir renders 3D estão propensas a erros, como a duplicação e sobreposição de objetos no mesmo modelo ou em diferentes especialidades ou objetos que são deixados nas margens do modelo, uma prática herdada da modelação CAD. É, portanto, aconselhável aderir a métodos de modelação normalizados e a bibliotecas de materiais e efetuar a deteção de conflitos.

Propomos três métodos de QTO, tendo em conta as fases de projeto, os LOD, a granularidade da informação e as técnicas de modelação BIM.

- O primeiro adequa-se aos objetos com baixo LOD, sem informação sobre materiais. Paredes, pavimentos e coberturas são modelados com a técnica genérica, várias camadas/materiais são representadas como um único objeto e material genérico. Estes objetos são classificados com os códigos das tabelas Elementos e Funções (EF) e/ou Sistemas (Ss). A solução proposta consiste em pré-calcular as quantidades relativas de materiais ou um PAG total por unidade de medida de cada solução construtiva, criando um catálogo de sistemas de construção armazenado numa BD externa que pode ser adaptada. As quantidades de objetos extraídos do modelo, ou seja, volume, área, metro linear ou unidade, são acompanhadas pelo código de classificação. Este código estabelece a ligação com as quantidades relativas na BD.
- O segundo método é adaptado para objetos BIM que representam um único elemento de construção, com diferentes camadas/materiais de uma biblioteca interna de materiais BIM. A técnica composta é a mais comum, atinge o melhor equilíbrio entre a economia de modelação e a representação completa dos materiais. No entanto, é mais difícil evitar erros de modelação, como a sobreposição de elementos estruturais, paredes e pisos. A solução proposta envolve extrair as quantidades de materiais de cada camada BIM (casificadas no parâmetro Keynote), mantendo a ligação com o *Element Type* que está classificado com um código dos Sistemas.
- O terceiro método funciona com objetos BIM que representam um único material ou produto, ou seja, em elementos como parede e coberturas em que cada camada é modelada separadamente com um objeto. A técnica separada é altamente pormenorizada; no entanto, a modelação consome mais tempo e complica a modificação dos elementos do edifício, uma vez que as camadas têm de ser editadas separadamente. A solução envolve extrair as quantidades de todos os objetos classificados. Para elementos como betão armado, onde as armaduras não são modeladas, ou para produtos que normalmente não são modelados, como pinturas e acabamentos, é fundamental incluir parâmetros pré-definidos, como a percentagem de armadura ou o tipo de revestimento. Essa prática simplifica o processo e torna mais fácil a análise das quantidades envolvidas.

2.4. Bases de dados

A quarta etapa consiste na criação de uma BD relacional editável que armazena e gere os dados de ACV dos materiais de construção, produtos e sistemas ou conjuntos, e permite que novas tabelas e ligações suportem novas funcionalidades, como a estimativa de custos ou o planeamento da construção. O formato CSV (*Comma Separated Values*) é usado para armazenar os dados, uma vez que os utilizadores podem facilmente editar e atualizar a informação utilizando o Microsoft Excel.

A seleção dos dados da ACV sempre que possível, devem ser selecionados dados de fabricantes locais tendo em conta a localização da construção, o mercado e a produção de materiais. A Figura 2 mostra o tipo de dados de ACV utilizados, dependendo da fase do projeto e da técnica de modelação. Quando as marcas, produtos e materiais ainda não estavam definidos, foram utilizados dados genéricos ou médios. Quando a informação específica se tornava disponível, foram utilizados dados específicos das DAP.

Os repositórios de DAPs são limitados na maioria das regiões. Em Portugal, por exemplo, o principal repositório de DAP é o DAPHabitat, que contém 42 entradas em dezembro de 2023. Existem diversas bases de dados internacionais com dados médios e genéricos como a Ecoinvent e a BD do One Click LCA. O Inventário de Carbono e Energia (ICE), da Universidade de Bath, é frequentemente utilizado e é a principal fonte de informação neste trabalho. A vantagem do ICE é o formato aberto e a acessibilidade do formato em folha de cálculo. Quando ainda não estão definidas marcas e produtos é aconselhado usar dados LCA genéricos ou médios em vez de DAPs, uma vez que são mais representativos.

Fases de projecto	Projecto Conceptual	Projecto de licenciamento	Projecto de execução	As built
Nível de Desenvolvimento	100	200	300 +	500
Técnica de modelação	Objectos BIM genéricos, e nenhuma informação de material		Objectos BIM com camadas de material.	Objectos BIM que representam cada produto ou material
Classificação SECClasS	Elementos e funções (EF)	Sistemas (Ss)	Sistemas (Ss), Produtos (Pr), Materiais (Ma)	Sistemas (Ss), Produtos (Pr), Materiais (Ma)
Dados AVC recomendados	Dados genéricos ou Dados médios	Dados genéricos ou Dados médios	Dados específicos (EPDs), ou Dados genéricos ou médios	Dados específicos (EPDs) e dados medidos no local
Dados complementares sobre os materiais	Quantidades relativas de material		—	—

Figura 2
A classificação SECClasS e os dados de ACV utilizados dependem da fase do projeto e da técnica de modelação.

2.5. Implementação da metodologia

O quinto passo é a implementação da metodologia. A ferramenta desenvolvida é um add-on em Python para o Autodesk Revit®, desenvolvido com recurso à biblioteca de scripts de código aberto PyRevit, que permite executar scripts em CPython, permitindo o acesso à interface de programação de aplicações do Revit. A ferramenta é composta por dois módulos. O primeiro gera dois ficheiros *Building_Information.csv* e *Building_Element_Information.csv*. No primeiro o utilizador introduz informações sobre o edifício: código e nome do projeto, área bruta e período de referência do estudo da ACV, e.g, 60 anos. O segundo é uma lista dos códigos únicos do modelo, que serve de verificação e validação do modelo e da informação na BD, e permite

identificar objetos não atribuídos com um código de classificação ou sem registo correspondente na BD ou atributos essenciais não especificados na BD.

O segundo módulo extrai as quantidades de elementos, produtos e materiais classificados do modelo, ligando-os aos dados na BD necessários para o cálculo da ACV (Fig. 1). Finalmente, a é acrescentado um novo parâmetro partilhado de instância, “*GlobalWarmingPotential (A1-3)*”, a cada objeto do modelo. Finalmente, é gerado um documento CSV e JSON que contém informações ambientais e técnicas detalhadas de cada objeto BIM. O ficheiro CSV com os resultados pode ser adicionado a um ficheiro Excel pré-formatado para produzir um relatório gráfico. A ferramenta está disponível para download em https://github.com/SARAPARECE/SECCalculator_PyRevit.git.

3. Caso de estudo

O projeto Nexity Laranjeiras desenvolvido pela Quadrante Engenharia é um edifício multi-residencial, com área bruta de construção de 19.640 m², em fase de licenciamento à data da realização do estudo, modelado em Autodesk Revit®, portanto com baixo LOD. O sistema construtivo é a tradicional estrutura de betão armado com divisórias de alvenaria de tijolo simples. Os modelos de arquitetura e estrutura foram modelados com uma técnica genérica. Os materiais dos modelos estão todos identificados como materiais genéricos e as armaduras também não são modeladas. Foram necessários alguns ajustes, como a reclassificação de alguns *Family* e *Types*, correção da espessura das paredes e lajes alinhando-as com a memória descritiva do projeto, e adição de um parâmetro com a percentagem de armadura em elementos de betão-armado. Foi considerando o período de referência do estudo da ACV de 60 anos.

Os elementos Revit foram classificados utilizando as tabelas Elementos e Funções (EF) e Sistemas (Ss). A informação sobre a composição material de cada elemento foi previamente armazenada na BD. A Tabela 2 exemplifica o método utilizado para calcular quantidades relativas de material da parede de alvenaria exterior tipo 1.

Tabela 2: Exemplificação do cálculo das quantidades relativas de paredes de alvenaria exterior classificadas com o código Ss_25_13_50.PDE1 – Sistemas de paredes de alvenaria.

SECClasS_Code	SECClasS_Title	Esp.	Densidade (kg/m ³)	Factor de Conversão (kg/m ²)	Per. de material (%)
Pr_25_71_35	2x Placas e chapas de gesso	0,0125	675	16,175	0,092
Ma_40_84_53	Lã mineal	0,04	30	1,2	0,007
AR	AR	0,085	0	0	0
Pr_20_93_52_15	Tijolos de barro	0,2	746	149,2	0,849
Ma_60_65_85_27	Poliestireno expandido (EPS)	0,1	16	1,6	0,009
Pr_35_31_64	Rebocos e estuques	0,005	1500	7,5	0,043
Ss_25_13_50. PDE1	Sistemas de parede de alvenaria	0,46	-	175,67	1

Os dados de ACV utilizados no cálculo provêm do ICE, excluindo janelas, portas, geotêxteis e membranas betuminosas.

O modelo de arquitetura apresenta um PAG de 200 kgCO₂e/m², enquanto o modelo de Estruturas tem 225 kgCO₂e/m², somando ambos 425 kgCO₂e/m². Os maiores contribuintes para o PAG são os sistemas de pavimentos ou lajes de betão armado – Ss_30_12_85_18, que contribuem com cerca de 2970 tCo2e, representando aproximadamente 35% das emissões totais (Figura 3). Em segundo lugar, estão os sistemas de pavimentos ou coberturas de betão – Ss_30_12_85_18, que incluem, por exemplo, betão, XPS, geotêxtil, chapa de betume, lã mineral, perfis de aço, placas e chapas de gesso, mas não incluem lajes de betão armado. Estes sistemas contribuem para 1202 tCo2e, representando cerca de 14% das emissões totais. As paredes divisórias de gesso cartonado – Ss_25_10_30_35, por outro lado, contribuem com 740 tCo2e, representando 9% das emissões totais de carbono. Os sistemas de paredes de alvenaria – Ss_25_13_50 representam 622tCo2e, correspondendo a cerca de 7% das emissões totais.

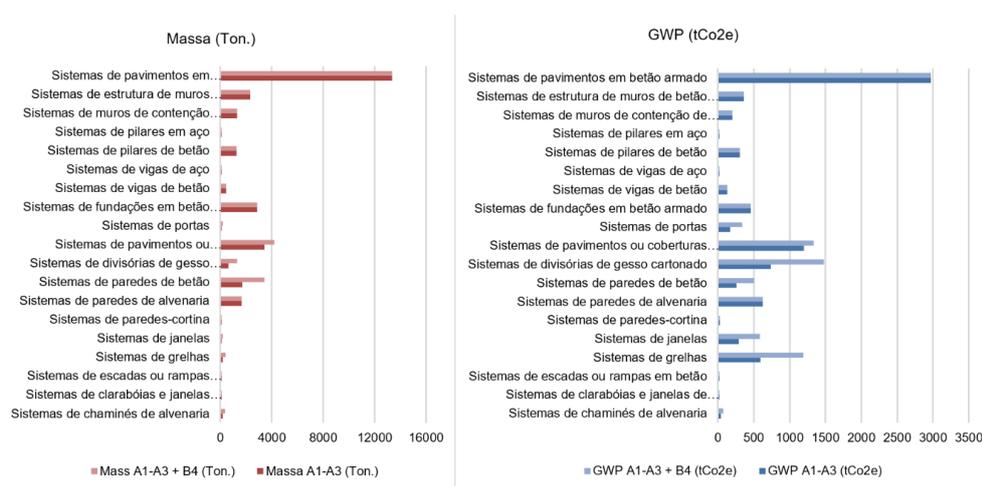


Figura 3
Gráficos com os resultados Modelos de Arquitetura e Estrutura, detalhando a repartição por Título do SECClasS.

3.1. Comparação com o OneClick LCA®

O OneClick LCA® extrai a lista de materiais do modelo Revit através de um add-on, enviando os dados para uma aplicação web. No entanto, a perda de ligação entre os materiais e os objetos BIM durante esse processo dificulta a identificação e leitura das quantidades, exigindo mapeamento manual na aplicação. Além disso, sempre que há alterações nos modelos, o processo é reiniciado.

Neste software, é essencial identificar clara e consistentemente os materiais, utilizando referências técnicas específicas, como *Ready-mix concrete C30/37*, evitando termos como [NO MATERIAL] ou [Generic MATERIAL]. Neste projeto, que se encontrava em fase de licenciamento, os materiais dos objetos BIM em ambos os modelos estavam identificados como materiais genéricos, o que impossibilitou a transferência automática dos dados dos modelos Revit para a aplicação. Considerando o tempo necessário para remodelar ambos os modelos, verificou-se mais vantajoso exportar

o MQT com o auxílio de outro add-on, como o *DiRoots SheetLink*, e adicionar manualmente as quantidades na aplicação web. Este processo é propenso a erros e, embora não tão demorado quanto editar o modelo, é pouco eficiente.

Os totais valores de carbono têm uma diferença inferior a 9% entre a ferramenta proposta e o OneClick LCA (Tabela 3). A diferença identificada justifica-se porque alguns valores de carbono dos elementos variaram de acordo BD ACV utilizada pelo software.

Tabela 4: Comparação de resultados do caso de estudo entre a ferramenta proposta e o OneClick LCA

Modelo	Resultados (t CO2e)	Distribuição (%)	OneClick LCA (t CO2e)	Distribuição (%)	Diferença (%)
Estrutura	4441	53	4563	60	2
Arquitetura	3951	47	3061	40	27
Total	8392	100	7624	100	9

4. Discussão e conclusão

É apresentada uma metodologia baseada em BIM que calcula o PAG nas fases A1-3 e B4 do ciclo de vida do edifício e facilita a ACV contínua ao longo das fases de projeto, ou seja, desde a fase de licenciamento até ao projeto de execução e em modelos desenvolvidos de forma heterogénea. O sistema de classificação de construção SECCLasS é utilizado para ligar dinamicamente a informação técnica e ambiental de uma BD externa aos dados geométricos nos modelos BIM. Esta estratégia elimina a necessidade de mapeamento manual entre os dados de sustentabilidade e os objetos BIM, quando estabelecidas bibliotecas classificadas e bem estruturadas de famílias, objetos e materiais BIM. O uso do BIM, em conjunto com bases de dados de ACV que consideram diferentes níveis de granularidade da informação elimina a necessidade de modelos BIM altamente detalhados. E, a solução que envolve guardar as quantidades relativas de material numa BD externa ou atribuir valores de PAG representativos aos sistemas, permite a simulação rápida de diferentes soluções.

Sublinha-se a importância da ACV automatizada para impulsionar a integração de Big Data e Inteligência Artificial na construção sustentável através da capacidade de gerar rapidamente estudos de ACV e conjuntos extensos de dados. É importante normalizar as estruturas de dados de ACV existentes, relacionado os com os sistemas de classificação da construção, o que é feito pelo SECCLasS. A estrutura do SECCLasS permite um refinamento passo a passo dos dados de ACV. Inicialmente, valores genéricos ou médios de ACV ou quantidades relativas de materiais são associados aos códigos da tabela de sistemas. À medida que o projeto progride, é atribuída uma classificação adicional de objetos e materiais BIM, definindo valores DAPs de ACV aos códigos das tabelas Produtos e Materiais.

A ferramenta traz benefícios como o controlo total dos dados, avaliação automática durante o projeto, integração com MQT e utilização gratuita. Contudo, apresenta

limitações que necessitarão de desenvolvimentos futuros, tais como a responsabilidade do utilizador na atualização das bases de dados de ACV, a falta de uma interface intuitiva, a incapacidade de importar ficheiros IFC e a não consideração de todo ciclo de vida do edifício.

Agradecimentos

Os autores expressam os seus sinceros agradecimentos à Quadrante Engenharia pela disponibilização dos modelos BIM do caso de estudo e pelo valioso contributo que foi determinante para o desenvolvimento deste trabalho.

Esta investigação foi financiada pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P. no âmbito do Programa MIT Portugal, através da Bolsa de Doutoramento PRT/BD/154261/2022, e por fundos nacionais no âmbito dos projetos UIDB/04466/2020 e UIDP/04466/2020.

Referências

- [1] M. Röck et al., “Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation,” *Appl Energy*, vol. 258, p. 114107, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.APENERGY.2019.114107.
- [2] I. S. O. 14040 ISO-14040, “Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework.” 2006.
- [3] A. Hollberg, G. Genova, and G. Habert, “Evaluation of BIM-based LCA results for building design,” *Autom Constr*, vol. 109, p. 102972, Jan. 2020, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102972.
- [4] A. Mendez et al., “Projeto SECCLASS – O desenvolvimento de um sistema de classificação da construção com componente de sustentabilidade adaptado ao BIM,” in *4o congresso português de ‘Building Information Modelling’ vol. 2 – ptBIM*, UMinho Editora, 2022, pp. 268-278. doi: 10.21814/uminho.ed.77.23.
- [5] L. Vieira, M. Campos, J. Granja, and M. Azenha, “Framework for (semi) automated construction specification and quantity takeoff in the context of small and medium architectural design offices,” *Architecture, Structures and Construction* 2022 2:3, vol. 2, no. 3, pp. 403-437, Nov. 2022, doi: 10.1007/S44150-022-00071-8.

Avaliação de Ciclo de Vida e BIM: Apoio à definição de soluções de reabilitação de edifício patrimonial português

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.19>

**Gabriel Sugiyama¹,
Hugo Rodrigues², Fernanda Rodrigues³**

¹ RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0002-2749-7796>

² RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0003-1373-4540>

³ RISCO, Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://orcid.org/0000-0001-9127-7766>

Resumo

Este artigo tem como objetivo comparar os possíveis impactos ambientais de diferentes soluções de reabilitação, propostas para um caso de estudo de um edifício vernacular português, tendo em conta a necessidade de buscar práticas menos impactantes de acordo com agendas globais e, simultaneamente, a preservação dos bens patrimoniais. As diferenças entre as duas soluções analisadas centram-se na escolha de materiais, que caminha entre utilização exclusiva de materiais convencionais e a utilização de materiais de origem local e natural, considerando a realidade portuguesa. Os resultados obtidos a partir dos procedimentos de Avaliação do Ciclo de Vida configuram a base da comparação, desenvolvidos por meio de um plugin analítico integrado ao BIM (Building Information Modelling). A produção de modelos HBIM (Heritage Building Information Modelling) foi essencial para a análise e, portanto, é uma parte vital da metodologia utilizada, não obstante, a modelação de edifícios patrimoniais por si só desempenha um papel importante na preservação dos bens patrimoniais, uma vez que fornece ferramentas precisas de documentação e gestão. Os resultados evidenciam variações de valores para diferentes indicadores de ambos os casos estudados, cuja interpretação precisaria de maior desenvolvimento para que conclusões melhor embasadas sejam alcançadas. Verificou-se que as ferramentas informáticas utilizadas ainda não estão bem-adaptadas para analisar bens patrimoniais ou edifícios históricos, pelo que tiveram de ser realizadas adaptações para ultrapassar tais limitações.

1. Introdução

O Building Information Modelling (BIM) surgiu como uma tecnologia que revolucionou o setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) em diversos aspectos. Apesar de a sua criação estar, sobretudo, voltada para novos edifícios, edificações existentes também podem se beneficiar de suas funcionalidades [1]. Para além disso, em conjunto com outras tecnologias digitais que surgiram nas últimas décadas, despontaram novas possibilidades de levantamento e modelação de edifícios patrimoniais, o que beneficiou a produção do conhecimento produzido, a gestão dos bens patrimoniais e a execução de trabalhos de conservação e reabilitação [2], [3]. As mudanças proporcionadas por tais procedimentos estão, desde o seu advento, transformando o paradigma de carácter técnico relativamente ao património construído, o que também vinha ocorrendo noutros âmbitos [4], [6]. Não obstante os proveitos mencionados e as atividades essenciais aos quais estão relacionados, os avanços associados a edificações patrimoniais não podem preterir questões atualmente prementes na sociedade, como a mitigação dos impactos ambientais.

Neste sentido, a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) tem como objetivo identificar os impactos ambientais relacionados à totalidade do ciclo de vida de um objeto, ou, neste contexto, de uma edificação ou solução construtiva. O resultado da ACV é constituído por uma gama de valores divididos em determinados indicadores, dentre eles o Global Warming Potential (GWP), ou Potencial de Aquecimento Global, que diz respeito às emissões de gases causadores de efeito estufa, medidos em quantidade equivalente de dióxido de carbono. Desta forma, ao estudar a ACV de soluções é possível identificar aquela menos impactante e agir em consonância com os acordos e agendas nacionais e internacionais de desenvolvimento sustentável [7], [8]. As ferramentas BIM têm o potencial de servir a este propósito, uma vez que as informações armazenadas pelos modelos, geométricas ou semânticas, podem ser utilizadas de variados modos. Tal processo pode, inclusivamente, ser feito de maneira integrada com os próprios software de modelação.

Os modelos BIM aplicados a edificações patrimoniais ou históricas, ou ainda os modelos Heritage/Historic Building Information Modelling (HBIM), são caracterizados por armazenar informações úteis à preservação, sobretudo de documentação detalhada e geometria precisa, muito comumente obtida de nuvens de pontos geradas a partir de levantamentos digitais [9]. O modelo deve igualmente ser carregado com informações semânticas que sirvam ao mesmo intuito, a exemplo de dados relativos a propriedades, sejam elas estruturais, térmicas ou mecânicas, a técnicas construtivas tradicionais, ou ainda a práticas de reabilitação ou conservação [9], [10]. A importância da documentação tem sido apontada como vital para a preservação pelas mais variadas organizações relacionadas ao património, bem como por cartas e documentos internacionais e diretivos relativamente à salvaguarda desses bens, como é o caso da Carta de Atenas [11], o primeiro documento internacional desse tipo, ou, mais recentemente, a Carta de Burra [12]. Apesar disso, o levantamento de dados semanticamente relevantes para o modelo HBIM continua a ser um desafio,

sobretudo no que diz respeito a características intangíveis, e tem recebido foco de pesquisa limitado até o momento [13].

Ainda no que diz respeito ao património construído, sabe-se que, inicialmente, somente as edificações consideradas *monumento histórico*, no sentido observado por Riegl [14] e posteriormente lembrado por Choay [15], eram dignas de preservação. Desta forma, estavam limitadas àquelas de grande notoriedade atribuída pela sociedade que lhes era contemporânea, o que, até dado momento, excluía as construções correntes e vernaculares. Alguns teóricos da Teoria da Conservação e Restauro já demonstravam preocupação com edificações correntes desde o seu princípio, a exemplo de Alberti, ainda no Renascimento. Posteriormente, já nos contextos de modernização da Revolução Industrial e no pós-guerra, respetivamente, Ruskin e Giovannoni também expressaram tal preocupação [16]. A ampliação da noção de património avançou oficialmente no âmbito internacional com a Carta de Veneza [17], no entanto é relativamente recente a menção a esse tipo de construção num documento específico [18].

Pode-se dizer, com base nos fatos apresentados, que o próprio desenvolvimento de um modelo HBIM é, por si só, útil para a preservação e para a gestão de uma edificação patrimonial. Mais ainda, a utilização do modelo para a identificação de práticas de conservação ou reabilitação mais sustentáveis é um contributo válido para a sociedade no contexto em que se encontra, uma vez que incentiva práticas menos impactantes. Neste sentido, vem o presente trabalho apresentar uma metodologia de ACV de diferentes soluções de reabilitação, tendo como caso de estudo uma edificação vernacular situada na Aldeia do Fujaco, Concelho de São Pedro do Sul (Figura 1). A metodologia de ACV tem como base o modelo HBIM do objeto estudado, fazendo uso de uma ferramenta integrada ao software BIM, denominada Tally. A proposta de reabilitação primária utiliza materiais naturais e locais, com o intuito de compará-la a uma solução que utiliza materiais convencionais.

2. Caso de estudo

Para a aplicação da metodologia, tema de estudo do trabalho, foi selecionada uma aldeia portuguesa, na qual a utilização de pedra de xisto nas construções é historicamente habitual, devido, sobretudo, à formação geomorfológica da região e da proximidade da aldeia com uma pedreira. Desta forma, a aldeia é caracterizada por suas edificações de carácter vernáculo, cujas técnicas construtivas são fruto da transmissão intergeracional, aperfeiçoadas para as condições específicas daquela localidade a partir de práticas empíricas, o que pode ser considerado património imaterial.

A aldeia possui cerca de 30 a 50 habitantes, todos com idade acima dos 40 anos. No entanto, o número de habitantes tem vindo a diminuir no decorrer dos anos, principalmente por conta da evasão da população jovem para grandes centros urbanos, fenómeno observado em diversas localidades do interior do país. O despovoamento põe em risco a manutenção do património construído, bem como do património imaterial [19].

Figura 1

Imagem da Aldeia do Fujaco (fonte: Wikimedia Commons 2009).



Com o propósito de levantar, modelar e propor soluções de reabilitação, foi selecionada uma edificação que se encontra em estado de ruína, em que restam apenas as paredes exteriores, compostas por pedra de xisto. Acredita-se que a edificação terá servido como habitação com dois pisos, de área correspondente a 16m² por pavimento. Parte da envolvente da edificação é a própria encosta, igualmente em pedra de xisto.

3. Levantamento e modelação

O levantamento foi realizado fazendo o uso de fotogrametria, de maneira a obter uma nuvem de ponto do objeto estudado, para então proceder à modelação em ambiente BIM. Para a obtenção das fotos, foi utilizado o drone compacto de modelo DJI Mavic Mini. Como é costumeiro da prática de fotogrametria, foram realizadas diversas fotografias com a sobreposição necessária, o que totalizou em mais de 200 itens.

O processo de fotogrametria foi, então, realizado no software Reality Capture, conforme demonstrado por Dedic [20]. Após correr o reconhecimento das fotos para o posicionamento dos pontos tridimensionalmente, obtendo assim a nuvem de pontos, é realizado um trabalho de limpeza para a remoção dos pontos indesejados. A partir de então a nuvem é exportada e inserida no software BIM, neste caso o Autodesk Revit.

O processo de modelação então segue com a criação dos elementos construtivos, de maneira a concebê-los geometricamente equivalentes ao real, o que ocorre com grande precisão por conta da nuvem de pontos que serve de base (Figura 2).

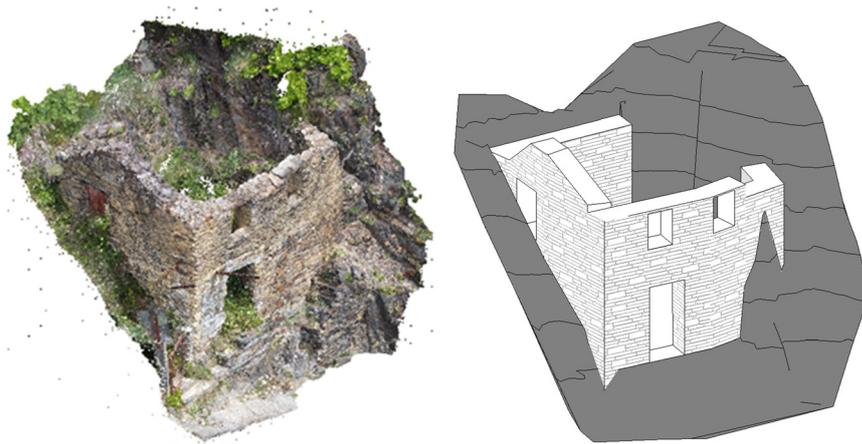


Figura 2
Nuvem de pontos obtida para o caso de estudo (à dir.) e imagem tridimensional do modelo a visualizar a “fase existente” (à esq.).

4. Definição de soluções e materiais

A proposta de reabilitação que se seguiu, denominada solução proposta (Figura 3), além dos princípios sustentáveis, também buscou respeitar caráter histórico e cultural da aldeia. Havia também a necessidade de respeitar a paisagem, de maneira que seria incoerente propor materiais diferentes e, assim, prejudicar o conjunto. Por outro lado, o interior da habitação poderia conter diferentes materiais, inclusivamente com o intuito de proporcionar o conforto e as características exigidas atualmente.

Os materiais selecionados, portanto, seriam, tanto quanto o possível: (1) a pedra local para o preenchimento dos espaços em falta nas paredes exteriores e execução da cobertura; (2) a cortiça, no que diz respeito ao isolamento; e (3) a madeira, nas caixilharias e pavimentos.

Em oposição, a solução com a qual a comparação seria feita, denominada solução de referência, e que utiliza materiais convencionais, faz uso de isolamento em EPS (Expanded Polystyrene), alumínio para as caixilharias e telhas cerâmicas.

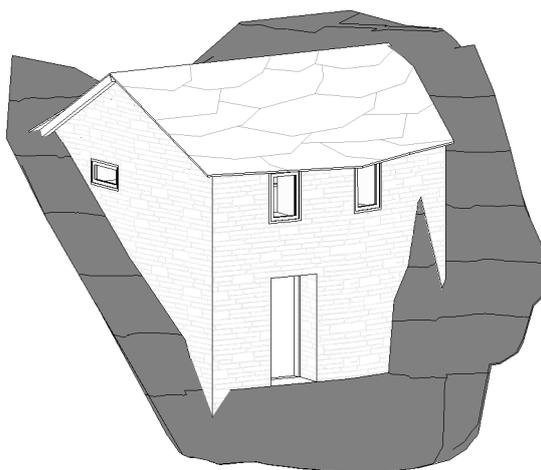
Desta forma, a modelação da reabilitação prosseguiu com a criação de pavimentos, ausentes no estado original, cobertura com isolamento, paredes interiores ligeiramente separadas das paredes de xisto originais, isoladas e acabadas com placas de gesso cartonado pelo lado interior. Além disso, foi criado um mezanino, juntamente com a escada que lhe dá acesso, bem como janelas e portas.

Algumas dificuldades foram encontradas nessa fase. Uma delas estava relacionada à modelação da cobertura, que assumia as camadas como maciças quando deveria existir o espaço de ar entre os elementos de madeira, por exemplo, o que exigiu maior detalhamento do modelo para que os resultados da ACV estivessem corretos. Outra envolvia a definição de materiais no plugin Tally, que não continha alguns dos materiais selecionados para a solução de reabilitação, como é o caso da cortiça e do xisto.

De maneira a contornar essa questão, mas ainda obter resultados tão próximos do ideal quanto o possível, os materiais inexistentes na biblioteca do Tally foram substituídos por isolamento de celulose e pedra calcária. Um estudo já havia apresentado as diferenças entre o isolamento de cortiça e de celulose, apontando que os materiais tinham comportamento parecido, sobretudo em comparação com materiais minerais e sintéticos, ainda que os indicadores de impacto ambiental tivessem proporções diferentes – a cortiça apresenta maior sequestro de carbono, mas maior impacto nas outras categorias [21].

Figura 3

Imagem tridimensional da solução proposta.



Quanto à pedra, foi decidido substituir o material por pedra calcária nas paredes e por telhas de ardósia manufaturadas, diferentes daquelas de grande dimensão simplesmente lascadas manualmente presentes na aldeia. Por esse motivo era esperado que as telhas industrializadas tivessem maior impacto, especialmente na fase de produção. As alterações realizadas quanto à materialidade podem ser visualizadas de maneira resumida na Tabela 1.

Tabela 1: Variações de material consideradas nas soluções estudadas

	Solução proposta	Solução avaliada	Solução de referência
Isolamento	Cortiça	Fibras de celulose	EPS
Janelas, portas e portadas	Madeira	Madeira	Alumínio
Cobertura	Placas de xisto	Telhas de xisto (manufaturadas)	Telhas cerâmicas

5. Resultados

Os resultados obtidos do Tally podem conter as opções de projeto (funcionalidade denominada *design option* no Autodesk Revit), o que foi útil neste caso. Desta forma, os dados foram emitidos num comparativo entre as duas soluções de reabilitação, o que continha variados indicadores normalmente apresentados em ACV, conforme demonstrado na Tabela 2 e na Figura 4.

Tabela 2: Resultados obtidos para a ACV de ambas as soluções

Indicadores	Solução de referência	Solução proposta
Total de massa (kg)	31,121.24	31,049.21
Total de Potencial de Aquecimento Global (kgCO ₂ eq)	11,658.71	10,833.85
Total de Potencial de Acidificação (kgSO ₂ eq)	105.92	118.09
Total de Potencial de Eutrofização (kgNeq)	5.29	10.38
Total de Potencial de Depleção de Ozono (CFC-11eq)	3.15E-06	1.51E-05
Total de Potencial de Formação de Smog (kgO ₃ eq)	1,919.03	2,091.36
Total de demanda de energia primária (MJ)	284,565.24	292,263.69
Total de demanda de energia não-renovável (MJ)	225,907.87	215,886.50
Total de demanda de energia renovável (MJ)	58,692.90	76,420.45

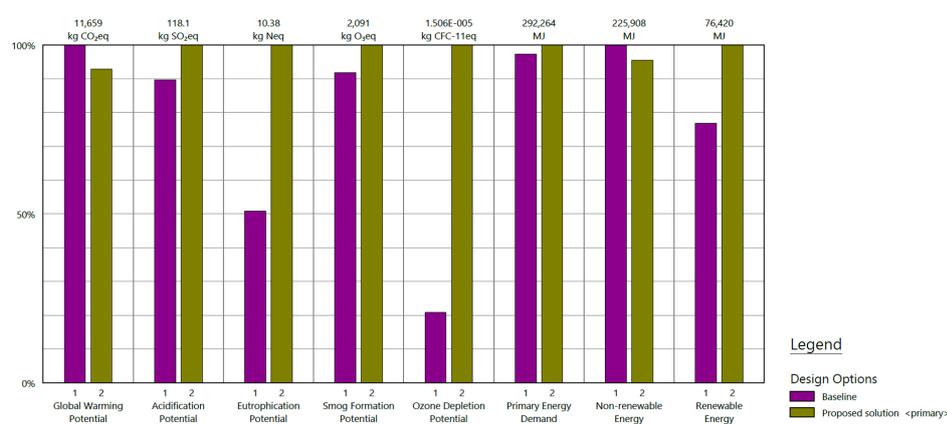


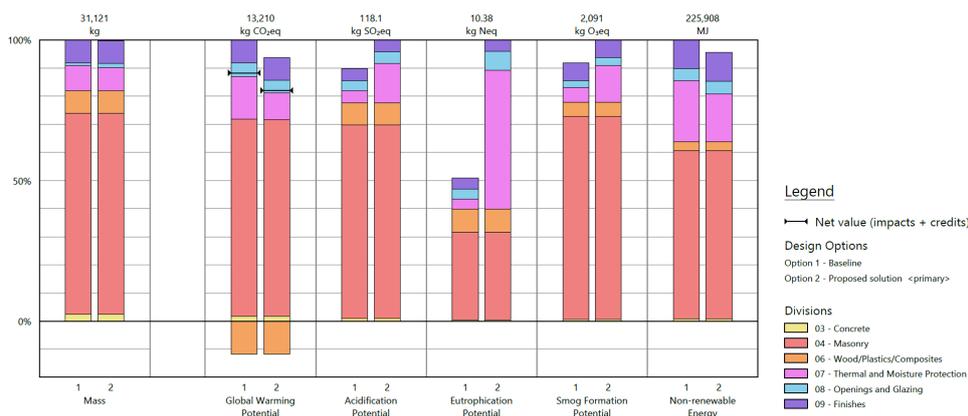
Figura 4
Resultados obtidos para ACV de ambas as soluções, dividida por indicadores.

No que diz respeito ao GWP, há grande vantagem na solução proposta. No entanto, para os outros indicadores a solução proposta não seria vantajosa, e, levando em conta os estudos comparativos entre a cortiça e a celulose, um cenário ainda mais gravoso poderia ser esperado.

O Potencial de Eutrofização é o indicador com maior diferença percentual entre as soluções, o que pode ser explicado pelo emprego de materiais de origem vegetal na solução proposta, tais como o isolamento de celulose e as caixilharias em madeira. O impacto associado ao isolamento é bastante evidente na visualização dos resultados por categoria de construção, apresentados na Figura 5, e, portanto, merece especial atenção.

Figura 5

Resultados obtidos para ACV de ambas as soluções divididas por categoria de construção para cada indicador.



6. Considerações finais

A metodologia apresentada demonstra vantagens para a salvaguarda de património edificado a partir da documentação precisa e do armazenamento de informação que o modelo HBIM pode oferecer. São também colocadas em evidência as vantagens que a ACV pode proporcionar para a comparação entre diferentes materiais e soluções em reabilitações, de maneira a utilizar aquela menos impactante. Não obstante, foi constatado que ainda há muitas limitações que devem ser ultrapassadas para que seja possível utilizá-la de maneira facilitada.

A ferramenta Tally se mostrou de fácil utilização, e a integração com o Revit permite a utilização do modelo para a execução da ACV de maneira intuitiva. Apesar disso, a ferramenta é limitante no que diz respeito à seleção dos materiais, que é restrita a uma biblioteca já existente, o que impossibilita a adaptação ao contexto das construções tradicionais. Sendo assim, os materiais avaliados na solução proposta tiveram de ser adaptados o tanto quanto possível, para que os resultados obtidos fossem próximos do que fora estabelecido para a solução proposta.

Relativamente aos resultados obtidos, a solução proposta evidencia valores reduzidos de GWP em comparação com a solução de referência, o que é relevante considerando as metas globais de redução de emissão de gases de efeito estufa. No entanto, o Potencial de Eutrofização tem valor consideravelmente maior, o que é relacionado ao uso de materiais de origem vegetal, e que, inclusivamente, poderia levar ao aumento da geração de gases de efeito estufa no futuro, entre outras consequências. A silvicultura durante a fase de produção e o descarte durante a fase de fim de vida representam as etapas de maior impacto neste quesito, o que pode estar envolvido a determinadas práticas associadas a esses processos. Sendo assim, o estudo acerca desses processos deve ser mais desenvolvido e a Análise de Inventário de Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory Assessment) mais bem esmiuçada para potencialmente suscitar medidas menos impactantes, de maneira a tornar possível beneficiar-se de menor emissão de gases de efeito estufa e materiais renováveis.

Apesar das diferenças apresentadas entre os resultados das soluções, uma abordagem normalizada e ponderada dos indicadores da ACV, de maneira a expor os

resultados num sistema de pontuação única, poderia levar a uma democratização do entendimento dos impactos que diferentes soluções podem causar ao ambiente, considerando os variados indicadores e seus meios únicos de impacto e mensuração. Uma abordagem semelhante foi explorada por Bottino-Leone et al [22] por meio de Key Performance Indicators (KPI, ou Indicadores-chave de Desempenho) para a validação dos resultados da ACV, permitindo melhor visualização e comparação no caso de uma avaliação de impactos ambientais para uma parede com isolamento.

Não obstante, esse tipo de processo não está incluído no escopo do Tally. Apesar de ter provado ser uma ferramenta simples e intuitiva, suas limitações relativamente a construções históricas e tradicionais constitui uma questão que tem de ser solucionada para que a aplicação a esses tipos de edificação seja facilitada.

Agradecimentos

O estudo realizado foi realizado ao abrigo de uma bolsa de doutoramento concedida ao primeiro autor com a referência UI/BD/154571/2022 com financiamento participado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Os autores agradecem ainda o apoio financeiro da FCT, através do projeto FCT/UIDB/ECI/04450/2020 (RISCO), e do ERASMUS+, através do projeto KA220-HED-000032082 – “BIM for higher education institutions” – BIM4HEI.

Referências

- [1] 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, March 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [2] B. Daniotti, M. Gianinetto, and S. Della Torre (eds.), “Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment” in *Research for Development*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-33570-0.
- [3] A. De Falco, F. Gaglio, F. Giuliani, and M. Martino, “A BIM-Based Model for Heritage Conservation and Structural Diagnostics: The City Walls of Pisa,” *The Future of Heritage Science and Technologies*, pp. 84-96, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-17594-7_7.
- [4] L. Dipasquale, L. Montoni, A. Montacchini, and S. Mecca, “Vernacular and World Heritage Impact Assessment: the case study of Patmos,” *JCHMSD*, vol. 12, no. 2, pp. 150-170, Apr. 2022, doi: 10.1108/JCHMSD-06-2021-0105.
- [5] E. Gigliarelli, F. Calcerano, and L. Cessari, “Heritage Bim, Numerical Simulation and Decision Support Systems: An Integrated Approach for Historical Buildings Retrofit,” in *Energy Procedia* (2017), Matera, Italy, 2017, pp. 135-144. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.379.

- [6] A. T. P. da Silva and A. P. Roders, "Cultural heritage management and heritage (impact) assessments," in *International Conference on Facilities Management, Procurement Systems and Public Private Partnership* (2012), Cape Town, South Africa, 2012.
- [7] UN General Assembly Resolution, "Resolution 70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," A/Res/70/1, New York, 2015.
- [8] United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), "The Paris Agreement". UNFCCC, New York, 2015
- [9] M. Murphy, E. McGovern, and S. Pavia, "Historic building information modelling (HBIM)," *Structural Survey*, vol. 27, no. 4, pp. 311-327, Aug. 2009, doi: 10.1108/02630800910985108.
- [10] A. Woodward and D. Heesom, "Implementing HBIM on conservation heritage projects: Lessons from renovation case studies," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 1, pp. 96-114, Jan. 2020, doi: 10.1108/IJBPA-06-2019-0054.
- [11] CIAM, "Carta de Atenas para o restauro de monumentos históricos," *1.º Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos de Monumentos Históricos*, Atenas, 1931.
- [12] Australia International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "The Australia ICOMOS charter for the conservation of places of cultural significance," Burra Charter, 1987.
- [13] D. Heesom, P. Boden, A. Hatfield, S. Rooble, K. Andrews, and H. Berwari, "Developing a collaborative HBIM to integrate tangible and intangible cultural heritage," *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 1, pp. 72-95, Jan. 2020. doi: 10.1108/IJBPA-04-2019-0036.
- [14] A. Riegl, *Le culte moderne des monuments. Son essence et sa genèse*. Paris: Editions du Seuil, 1984.
- [15] F. Choay, *L'allégorie du patrimoine*. Paris: Editions du Seuil, 1992.
- [16] J. Jokilehto, *A history of architectural conservation*. London: Routledge, 2017.
- [17] International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "International charter for the conservation and restoration of monuments and sites: the Venice charter". Venice: ICOMOS, 1964.
- [18] International Council on Monuments and Sites (ICOMOS), "Charter on the Built Vernacular Heritage," Mexico: ICOMOS, 1999.

- [19] L. R. Paulo, "A Reabilitação do Património como Factor de Desenvolvimento Regional: Os Modelos da Beira Interior," *Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, 2010. ISSN: 1809-4120
- [20] M. Dedic, "Digital Model of an Existing Building a Wild Riverbed in Tokyo," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1066, no. 1, p. 012017, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1066/1/012017.
- [21] S. Fuchsl, F. Rheude, and H. Röder, "Life cycle assessment (LCA) of thermal insulation materials: A critical review," *Cleaner Materials*, vol. 5, p. 100119, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.clema.2022.100119.
- [22] D. Bottino-Leone, M. Larcher, D. Herrera-Avellanosa, F. Haas, and A. Troi, "Evaluation of natural-based internal insulation systems in historic buildings through a holistic approach," *Energy*, vol. 181, pp. 521-531, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.05.139.

Avaliação do Ciclo de Vida da fase operacional de elementos construtivos com recurso a uma ferramenta BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.20>

**Raquel Matos¹, Hugo Rodrigues²,
Aníbal Costa³, Fernanda Rodrigues⁴**

¹ RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, <https://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/0000-0001-8950-4843

⁴ RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Aveiro, orcid.org/0000-0001-9127-7766

Resumo

A implementação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na fase operacional de edifícios é ainda uma tarefa árdua e pouco explorada na literatura e na prática, devido à dificuldade de obter inventários completos dos componentes e dos processos que compõem as ações de manutenção dos elementos construtivos. A dificuldade na definição dos fluxos dos materiais e das fronteiras dos sistemas impedem também a realização de um estudo de impacto ambiental rigoroso. Desta forma, este trabalho tem como objetivo apresentar a implementação da ACV à fase operacional de um elemento construtivo. Para esse efeito, o *add-in* Tally para o Autodesk Revit será aplicado a um caso de estudo para efetuar a análise dos impactos ambientais de todo o ciclo de vida do elemento. Na análise serão consideradas as alternativas de substituição ou a manutenção do elemento de acordo com a sua vida útil. Este trabalho possibilita verificar indicadores ambientais resultantes das ações implementadas durante a vida útil do elemento construtivo, o que permite aos intervenientes do sector da construção, a tomada de decisão mais consciente para as três dimensões da sustentabilidade: social, económica e ambiental. No final será discutido o desempenho do software Tally aplicado à fase operacional do edifício, onde serão apresentadas as suas limitações.

1. Introdução

A gestão de edifícios é importante para o desenvolvimento sustentável no sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), uma vez que abrange as atividades inerentes à fase operacional do edifício. A gestão de edifícios inclui entre outras atividades, a gestão de manutenção, de risco, da limpeza dos ativos, segurança dos espaços, bem como também iniciativas na área da sustentabilidade. Para uma gestão de ativos mais sustentável é necessário adotar ferramentas e metodologias adequadas para o cálculo dos impactes ambientais das diversas fases do ciclo de vida dos edifícios, dos seus processos e materiais, como é o caso da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O ACV é uma metodologia usada para o cálculo e previsão dos impactes ambientais de processos, materiais e componentes, desde o fabrico até ao final da sua vida útil e que contribui para a adoção de práticas mais sustentáveis do ponto de vista ambiental e económico [1]. É uma ferramenta que contribui para a identificação dos processos e materiais mais danosos para o ambiente e por isso possibilita a redução do consumo de recursos e da adoção de processos e materiais com menor impacte ambiental permitindo analisar as possíveis opções de fim de vida, como a reutilização, reparação ou reciclagem [2][3].

No entanto, de acordo com a revisão bibliográfica elaborada, a aplicação desta metodologia aos processos de manutenção dos sistemas construtivos dos edifícios é escassa. A sua aplicação à fase operacional dos edifícios foca-se, essencialmente, na análise do desempenho energético [4][5].

Este artigo tem como objetivo avaliar e comparar os impactes ambientais de ações de manutenção aplicadas durante a fase operacional de um sistema construtivo, através da implementação da metodologia ACV. Para esse efeito, este trabalho apresenta a aplicação do *add-in* Tally para o Autodesk Revit a um caso de estudo. A análise dos impactes ambientais inclui todo o ciclo de vida do elemento e as alternativas analisadas consideram a substituição ou a manutenção do elemento de acordo com a sua vida útil. Este trabalho possibilita estimar indicadores ambientais resultantes das ações implementadas durante a vida útil do elemento construtivo, o que permite aos intervenientes a tomada de decisão mais consciente.

2. Metodologia

Este estudo avalia e compara os impactes ambientais de três alternativas de ações de manutenção e de substituição da estrutura metálica de suporte o sistema de sombreamento das fachadas SE e NW do edifício do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. As alternativas de soluções de intervenção na estrutura metálica do edifício propostas serão avaliadas através do Tally versão 2022.04.08.01, um *add-in* do Autodesk Revit versão 2022, usado na metodologia de ACV e cuja base de dados é a GaBi, desenvolvida pela Thinkstep [6];

Para concretizar o trabalho proposto, foi desenvolvida uma metodologia com os seguintes passos:

- 1) Análise do caso de estudo e modelação tridimensional.
- 2) Cálculo da vida útil da estrutura metálica de acordo com o método fatorial [7].
- 3) Recolha das ações de intervenção de acordo com indicações de empresas especializadas.
- 4) Cálculo da vida útil das tintas protetoras de estruturas metálicas.
- 5) Implementação da metodologia LCA [1][8], que inclui os seguintes passos:
 - a) Definição de objetivos e âmbito;
 - b) Análise de inventário;
 - c) Avaliação de impacto ambiental;
 - d) Interpretação de resultados.

Na secção seguinte apresenta-se a implementação da metodologia ao caso de estudo.

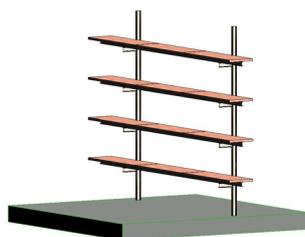
2.1. Caso de estudo

O caso de estudo é o edifício do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, em Aveiro, Portugal, da autoria do Arquiteto Souto Moura e construído em 1993. O edifício é composto por 4 pisos com planta retangular. As fachadas NE e SW são constituídas por betão armado à vista. As fachadas SE e NW contêm vãos envidraçados protegidos por um sistema de sombreamento composto por lâminas de mármore rosa apoiadas numa estrutura metálica. De acordo com o Projeto de Execução datado de Agosto de 1991, a estrutura é constituída por perfis IPE 80 de aço decapado e metalizado para suporte das lâminas de mármore da fachada, incluindo fixações e acessórios, de acordo com as especificações e pormenorização. A Figura 1 apresenta a imagem da fachada e a Figura 2 apresenta um detalhe do modelo tridimensional do sistema de sombreamento em estudo.



Figura 1
Estrutura metálica de suporte ao sistema de sombreamento de fachada.

Figura 2
Sistema de
sombreamento de
fachada em estudo.



2.2. Cálculo das vidas úteis

A primeira etapa considera o uso do método fatorial para calcular a vida útil estimada com base nas ações de manutenção propostas [7] e do método de cálculo apresentado na norma ISO 12944:2018 [9] para calcular a vida útil da pintura protetora da estrutura metálica proposta para as ações de manutenção a implementar. Este passo baseia-se nas duas soluções de manutenção propostas por empresas especializadas e na intervenção de substituição da estrutura para estabelecer a comparação.

Desta forma, as vidas úteis de referência e estimadas são as seguintes:

Vida útil atual da estrutura metálica em estudo.	29 A
Vida útil de referência do edifício [10].	50 A
Vida útil de referência da estrutura metálica em estudo [11].	30 A
Vida útil estimada da estrutura metálica sem aplicação de ação de manutenção. (Cenário S1)	28 A
Vida útil estimada da estrutura metálica com aplicação de uma ação de manutenção (com 1 demão de tinta protetora de 300 um). (Cenário S2)	56 A
Vida útil estimada (cálculo desde o início da vida do objeto) da estrutura metálica com aplicação de uma ação de manutenção com galvanização (com duas demãos de tinta protetora de 150 um). (Cenário S3)	46 A

Através da implementação das ações de manutenção é possível incrementar a vida útil do objeto de estudo em até 25 anos.

A Tabela 1 apresenta o mapa de quantidades do objeto de estudo a considerar nas simulações do ACV no software Tally.

Tabela 1: Mapa de quantidades do objeto em estudo.

Sistema de sombreamento	Unidade funcional	Quantidades
Estrutura metálica em IPE80	ml	2561,52
Laminas de mármore Rosa	ml	1723,80

2.3. Metodologia de avaliação do ciclo de vida

O objetivo do estudo é estabelecer a comparação entre os impactes ambientais de diferentes ações de manutenção e substituição de um elemento construtivo de fachada. A unidade funcional adotada foi o metro linear (ml) que representa 6 kg de IEP80. Esta unidade funcional foi escolhida para permitir a comparação entre diferentes estudos.

A vida útil do edifício considerada no Tally foi de 79 anos. A vida útil atual do edifício é de 29 anos e de acordo com a NP EN 1990: (2009) [10] a vida útil de referência para este tipo de edifício é de 50 anos, tempo considerado pela ação de beneficiação e reabilitação a ser executada num futuro próximo.

As condições fronteira do sistema estudado incluem todo o ciclo de vida do sistema de suporte, incluindo a produção do material, a construção, a utilização que inclui a manutenção, a reparação, a substituição, a remodelação e a energia operacional e o fim de vida.

As normas ISO aplicáveis ao desenvolvimento do LCA não especificam as categorias de impacto a avaliar ou os métodos de avaliação de impacto a utilizar. Neste estudo, o cálculo dos resultados é realizado pelo método TRACI, que permite quantificar e comparar os impactos ambientais e diferentes substâncias nas várias categorias de impacto. As categorias de impacto consideradas na análise do presente estudo são:

- Aquecimento global total (GWP) – Indicador de potencial de aquecimento global devido à soma das emissões totais de Gases Efeitos de Estufa para a atmosfera (medido em kg CO₂ equiv.);
- Acidificação – Indicador do potencial de acidificação de solos e água devido à liberação de gases como óxidos de azoto e óxidos de enxofre (medido em kg SO₂-equiv.); A acidez penetra no ciclo da água, provocando a chuva ácida, que diminui o pH do solo e a saturação de bases. Isto resulta na infertilidade do solo, que afeta a diversidade vegetal e todo o ecossistema oceânico.
- Eutrofização – Indicador do enriquecimento do ecossistema de água com elementos nutricionais, devido à emissão de compostos contendo azoto ou fósforo (medido em kg fosfato (PO₄-) equiv.);
- Potencial de formação de nevoeiro – Indicador da formação de nevoeiro numa determinada área e resulta sobretudo da queima de combustíveis fósseis (medido em kg O₃ equiv).
- Depleção da camada de ozono – A camada de ozono impede que os raios ultravioleta atinjam o solo, preservando a vida vegetal e oceânica e evitando impactos. Os buracos nesta camada podem causar danos à pele, animais, materiais de construção e outros problemas de saúde [12]. (medido em kg CFC-11-equivalentes)

O inventário do ciclo de vida recolhe toda a informação sobre os processos de produção, construção e manutenção (soldadura, transporte, recursos para o processo de galvanização, soluções de manutenção a empregar e respectivos recursos) das estruturas metálicas e sua manutenção. Dado a limitação de espaço do artigo, este item não será extensamente desenvolvido.

A Tabela 2 apresenta os cenários adotados para o estudo de ACV e a vida útil do edifício, o que significa que o sistema de construção deve cumprir a sua função pelo menos durante 79 anos. Este período foi considerado como o de referência nas simulações dos impactos ambientais.

Tabela 2: Cenários considerados.

Descrição	Vida útil estimada – cenários	Período considerado – Tally	Cenário
Estrutura metálica submetida a duas substituições.	28 A	79A	S1
Estrutura metálica submetida a 1 manutenção sem galvanização	56 A	79A	S2
Estrutura metálica submetida a 1 manutenção com galvanização	46 A	79A	S3

Parâmetros considerados:

- Energia de soldadura da construção no local
- Energia de soldadura das intervenções de manutenção
- Consumo de energia do processo de galvanização
- Consumo de água no processo de galvanização
- Transporte de produção
- Transporte de manutenção

2.4. Avaliação de impacto ambiental

As Tabelas 3 a 5 apresentam os resultados apresentados para cada indicador ambiental por fase de ciclo de vida incluído na ACV. A Tabela 6 apresenta uma comparação dos resultados obtidos nos cenários.

Tabela 3: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S1 – duas substituições.

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	29680	7622	0	26,98
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	159,92	21,88	0	0,12492
Eutrofização [kg N eq.]	3,406	2,098	0	0,006322
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	5,44 x 10 ⁻⁶	2,39 x 10 ⁻⁹	0	4,97 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	767,4	537,2	0	2,476

Tabela 4: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S2 – manutenção sem galvanização.

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	22146	3276	27236	41,69
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	89,76	8,466	40,56	0,1925
Eutrofização [kg N eq.]	3,036	0,8472	5,209	0,009762
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	2,720 x 10 ⁻⁶	78 x 10 ⁻⁹	1,461x 10 ⁻⁸	7,670 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	577,8	186,8	759,5	3,821

Tabela 5: Impactes ambientais por fase de ciclo de vida obtidos para o Cenário S3 – manutenção com galvanização

Processos/ Fases	Produção [A1-A3]	Construção [A4-A5]	Utilização [B2-B5]	Fim de vida [C2-C4]
Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	22146	3583	28974	41,69
Acidificação [kg SO ₂ eq.]	89,76	10,74	42,17	0,1925
Eutrofização [kg N eq.]	3,036	14,18	5,283	0,009762
Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	2,720 x 10 ⁻⁶	1,388 x 10 ⁻⁹	1,461x 10 ⁻⁸	7,670 x 10 ⁻¹²
Potencial de formação de nevoeiro [kg O ₃ eq.]	577,8	196,8	800,7	3,821

A Tabela 6 apresenta o resumo das comparações dos impactes ambientais entre os cenários S1, S2 e S3.

Tabela 6: Comparação dos resultados dos impactes ambientais entre cenários

	Aquecimento Global total [kg CO ₂ eq.]	Acidificação [kg SO ₂ eq.]	Eutrofização [kg N eq.]	Depleção da camada de ozono [kg CFC 11 eq.]	Potencial para Nevoeiro [kg O ₃ eq.]
S1-S3	46,65%	-21,47%	308,48%	-49,73%	20,81%
S1-S2	41,18%	-23,61%	65,18%	-48,32%	16,90%
S2-S3	3,88%	2,79%	147,30%	-2,72%	3,35%

As Tabelas 3 a 6 permitem verificar o aumento dos impactes ambientais na fase de utilização ao longo dos cenários, nomeadamente para o Potencial de Aquecimento Global total, o Potencial de Eutrofização e o Potencial de formação de nevoeiro. O Cenário S3 inclui um maior consumo de energia para os processos de reparação e galvanização do aço e envolve mais emissões provenientes da soldadura e da galvanização, o que justifica o aumento significativo do Potencial de Aquecimento Global total e do Potencial de formação de nevoeiro. Os processos de manutenção, reparação e galvanização do aço geram águas residuais que contêm contaminantes como óleos, gorduras e metais nocivos para os ecossistemas aquáticos, se não forem corretamente geridos, o que justifica o aumento da eutrofização, o que está de acordo com [13].

As Tabelas 3 a 6 mostram o aumento dos impactes ambientais para as fases de Utilização e Fim de Vida com a implementação das atividades de manutenção ao longo da vida útil do sistema em estudo. No entanto, as desvantagens e limitações do software da metodologia BIM, Tally, permitem justificar que o estudo não é apropriado para os fins deste trabalho, pelo seguinte:

O Tally não permite a edição de ações de manutenção. Permite adicionar uma camada de acabamento à estrutura predefinida pelo software, que não pode ser editada. Para além disso, não permite editar o número de camadas de tinta protetora. Na

realidade, as ações de manutenção propostas neste estudo de caso envolvem três camadas de pintura diferentes, mas apenas foi adicionada uma.

Também não permite adicionar novos processos durante o ciclo de vida do sistema, como por exemplo o processo de galvanização. O processo de galvanização foi adicionado ao software através dos recursos editáveis nos domínios da construção e da exploração, através dos recursos água, calor e energia.

Uma vez que apenas é possível adicionar uma camada de manutenção à estrutura, os impactes ambientais para as fases de utilização e fim de vida não traduziram exatamente os resultados reais destas fases para a operação e fim de vida.

Assim, é possível inferir que o software de modelação BIM necessita de ajustes no seu layout e método de cálculo, para testar a inclusão de ações de manutenção ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Por outro lado, o Tally é bastante expedito, uma vez que a estrutura, se devidamente modelada, inclui automaticamente o seu processo de produção na metodologia de ACV, sem necessidade de retirar quantidades de material. Este software é também bastante útil na tomada de decisão e escolha componentes/elementos menos onerosos para o ambiente aplicados às fases de produção e construção de edifícios.

3. Conclusões

Como ferramenta de apoio na reabilitação e manutenção de edifícios existentes, a ACV pode ser aplicada por projetistas e decisores para definir e desenvolver estratégias e soluções para edifícios mais sustentáveis. A análise da ACV foi efetuada para avaliar os impactes ambientais de diferentes cenários para o sector da construção. O caso em estudo é a estrutura metálica exposta que suporta um sistema de sombreamento do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. O estudo envolve a análise do impacte ambiental de três cenários através da metodologia de ACV. As alternativas incluem a substituição de todas as estruturas metálicas e a reparação da estrutura metálica com soluções propostas por duas empresas. A análise foi efetuada através de um software da metodologia BIM: Tally. As categorias ambientais consideradas foram o Aquecimento global total, a Acidificação, a Eutrofização, o Potencial de formação de nevoeiro e o Depleção da camada de Ozono.

Os resultados obtidos a partir das três simulações mostraram o aumento dos impactes ambientais para os cenários que incluem soluções de manutenção e reparação. A implementação das ações de manutenção é benéfica apenas para a depleção da camada de ozono, uma vez que de acordo com a literatura e com os resultados das simulações, os produtos químicos e processos envolvidos nas ações de manutenção e reparação consideradas não são substâncias com impacto significativo na camada de ozono.

Este estudo permite constatar que, embora a manutenção aumente ligeiramente os impactes ambientais, ela permite prolongar a vida útil da estrutura e preserva a

componente arquitetónica e cultural. Ainda assim, as ações de manutenção permitem reduzir o consumo de recursos e evitar o aumento de resíduos.

As pinturas (poliuretano, poliéster e epóxi) consideradas na manutenção e o processo de decapagem e galvanização, têm um forte impacto ambiental, pelo que é possível concluir que, apesar de permitir um prolongamento da vida útil, é também necessário adotar processos de manutenção de estruturas metálicas menos prejudiciais para o ambiente. Assim, este estudo permite evidenciar estes pontos críticos para que no futuro seja possível colmatá-los.

Além disso, é possível concluir que o Tally, apesar de integrado à ferramenta BIM e de ser um software expedito na implementação da metodologia ACV, possui limitações aquando aplicado à fase de operação dos edifícios, uma vez que não permite adicionar nem editar os processos de manutenção e reparação dos objetos, o que impede de obter um resultado fiável dos impactos ambientais associados a vários cenários de manutenção e reparação reais.

Agradecimentos

O estudo realizado foi realizado ao abrigo de uma bolsa de doutoramento concedida à primeira autora com a referência SFRH/BD/147532/2019 com financiamento participado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e pelo Fundo Social Europeu e por fundos nacionais do MCTES.

Referências

- [1] BS EN ISO 14040:2006, “BSI British Standard - ‘Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,’” vol. 3, no. 1. 2006.
- [2] S. Proietti, P. Sdringola, U. Desideri, F. Zepparelli, F. Masciarelli, and F. Castellani, “Life Cycle Assessment of a passive house in a seismic temperate zone,” *Energy Build.*, vol. 64, pp. 463-472, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.05.013.
- [3] Simapro, “Simapro - Complementing The Circular Economy With Life Cycle Assessment.” 2015, [Online]. Disponível: <https://simapro.com/2015/circular-economy-and-life-cycle-assessment/>.
- [4] S. B. Nielsen, A. L. Sarasoja, and K. R. Galamba, “Sustainability in facilities management: an overview of current research,” *Facilities*, vol. 34, no. 9-10, pp. 535-563, 2016, doi: 10.1108/F-07-2014-0060.
- [5] E. Maslesa, P.A. Jensen, and M. Birkved, “Indicators for quantifying environmental building performance: A systematic literature review,” *J. Build. Eng.*, vol. 19, no. March, pp. 552-560, 2018, doi: 10.1016/j.job.2018.06.006.
- [6] Building Transparency, “ChooseTally – ‘Tally Database .’” 2023.

- [7] ISO 15686-1, "International Organization for Standardization - ISO 15686-1:2011(en) – Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles and framework," vol. 2011. 2011.
- [8] BS EN 15978:2011, "BSI Standards Publication 'Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method,'" no. November. 2011.
- [9] ISO 12944, "ISO 12944 – Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint Systems," 2018.
- [10] NP EN 1990: 2009, "Norma Portuguesa – Eurocódigo 0 – Bases para o projeto de estruturas," Inst. Port. da Qual., vol. 1999, 2009.
- [11] CIB W80, n.a 'CIB W80 Prediction of Service Life of Building Materials and Components.' – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*
- [12] H. Matthews, C. Hendrickson, and D. Matthews, *Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions that Matter*, vol. 13, no. 1. Open access textbook retrieved from <https://www.lcatextbook.com/>, 2014.
- [13] K. Aljundi, "Is BIM an effective methodology to integrate LCA in the buildings' design?" Tese de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro, Aveiro, 2017.

Processo automatizado para determinação de indicadores de impacto ambiental em modelos BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.21>

**Paula Assis¹, Ricardo Figueira¹,
Pablo Gilabert²**

¹ *Top Informática, Lda., Braga*

² *CYPE Ingenieros, S.A., Alicante*

Resumo

Metade da matéria-prima extraída na União Europeia é direcionada para a construção, uma indústria com alto consumo de recursos naturais e responsável pela geração massiva de resíduos. O Conselho Europeu definiu para a UE o objetivo de reduzir as emissões de CO₂ em 55% até 2030 e alcançar a neutralidade climática em 2050. Uma estratégia para a indústria da construção de edifícios baseada em práticas mais sustentáveis e na adoção de modelos de economia circular, permitirá reduzir o impacto ambiental, contribuindo assim para uma sociedade mais justa e próspera.

Neste trabalho é proposto um processo automatizado para a determinação de indicadores de impacto ambiental, calculados a partir da extração de quantidades de modelos BIM. O processo baseia-se num fluxo de trabalho multidisciplinar, colaborativo, utilizando ficheiros de formato aberto. O fluxo é suportado pelo software Open BIM Quantities, desenvolvido no âmbito do projeto CircularBIM, cofinanciado pela UE, e por uma base de dados que contém as características ambientais.

Trata-se de um processo dinâmico, sensível a alterações de projeto, que proporciona informação em tempo real e, conseqüentemente, facilita o estudo de soluções alternativas. Deste modo é possível fazer uma escolha fundamentada da solução a adotar com base no respetivo impacto ambiental, através da análise das emissões de CO₂, energia incorporada e, ainda, resíduos gerados e custo de construção. O processo automatizado proposto é aplicado a um caso de estudo com o objetivo de avaliar a sua implementação e o seu desempenho.

1. Introdução

A quantificação de indicadores de impacto ambiental e o seu controlo estão a ganhar enorme importância na indústria da construção. A metodologia BIM oferece grandes vantagens proporcionando um aumento da produtividade, especialmente através da automatização de processos, pois baseia-se em fluxos de trabalho colaborativo para a partilha de informação e recorre a um modelo BIM que representa o edifício. O modelo permite vários usos BIM, como o da determinação de medições de quantidades nas várias fases do projeto. Se a estas quantidades se afetarem parâmetros de sustentabilidades, podem-se obter indicadores relativos ao edifício com vista à análise de sustentabilidade.

O formato IFC (Industry Foundation Classes) é uma ferramenta de interoperabilidade por excelência, no entanto, é necessário que sejam cumpridas regras específicas de modelação ao criar os modelos BIM [1], de modo a otimizar o processo de colaboração, no que diz respeito à partilha, troca e extração de informação. Paralelamente, na análise BIM 5D, surge a necessidade de definir critérios de medição, transparentes e adaptados à realidade BIM, que permitam otimizar o processo de medição eliminando assim o erro humano resultante do sistema tradicional. Consequentemente, surge também a necessidade de dispor de bases de dados que permitam determinar o objeto final, isto é, o custo de construção. É aqui que se enquadra a base de dados Gerador de Preços CYPE. A sua evolução ao longo dos anos permitiu incluir uma série de outros parâmetros, para além dos custos de construção, como a implementação realizada no presente trabalho, relativa aos indicadores de impacto ambiental, que se veio juntar à implementação de resíduos gerados, realizada anteriormente, disponibilizando, assim, informação para a análise no âmbito da dimensão BIM 6D, mais especificamente de sustentabilidade ambiental.

A proposta que se apresenta diz respeito a um processo automatizado, suportado por um ecossistema de softwares OpenBIM, realizado a partir de ficheiros de formato aberto IFC e bases de dados que utilizam também um formato aberto, o BC3 [2]. A automatização do processo, permite uma redução do tempo na obtenção dos parâmetros de sustentabilidade de um edifício, um maior rigor no resultado final e clareza na informação gerada. Este processo proporciona, assim, vantagens comparativamente com os processos convencionais, bem como a possibilidade de efetuar a qualquer momento o estudo de soluções quer de alternativas mais sustentáveis, quer de alteração de projeto.

2. Impacte ambiental nas dimensões BIM

Segundo a norma ISO19650-1:2018, o BIM é definido como o uso de uma representação digital partilhada de um ativo construído para facilitar os processos de conceção, construção e operação, formando uma base confiável de apoio à decisão. Por outro lado, pode-se entender o modelo BIM como um modelo constituído por camadas de informação, correspondentes a dimensões, que vão desde o modelo tridimensional,

3D, passando pelo planeamento, 4D, pelo custo, 5D, e pela sustentabilidade, 6D, até à operação e manutenção, 7D, entre outras.

O ponto de partida do processo automatizado que se apresenta é precisamente o modelo tridimensional, seguidamente o processo foca-se nos parâmetros de sustentabilidade, uma vez que o objetivo é a determinação de indicadores de impacte ambiental, sendo que a dimensão custo assume também importância relevante, a par dos resíduos gerados, para aquilo que é a finalidade do processo, ou seja, a tomada de decisão sobre possíveis soluções.

3. Determinação de indicadores de impacte ambiental

3.1. Enquadramento do fluxo de trabalho

O processo proposto, pressupõe a utilização de softwares e de bases de dados que trabalham com ficheiros de formato aberto e se integram através de um fluxo de trabalho multidisciplinar e colaborativo, onde o ator principal é o software Open BIM Quantities [3]. De acordo com a figura 1, o fluxo de trabalho é suportado pela plataforma BIMserver.center [4].

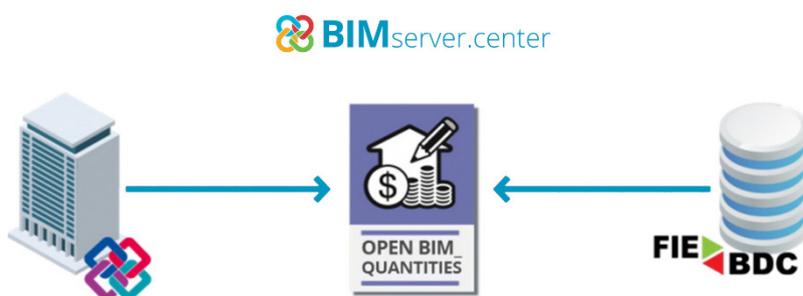
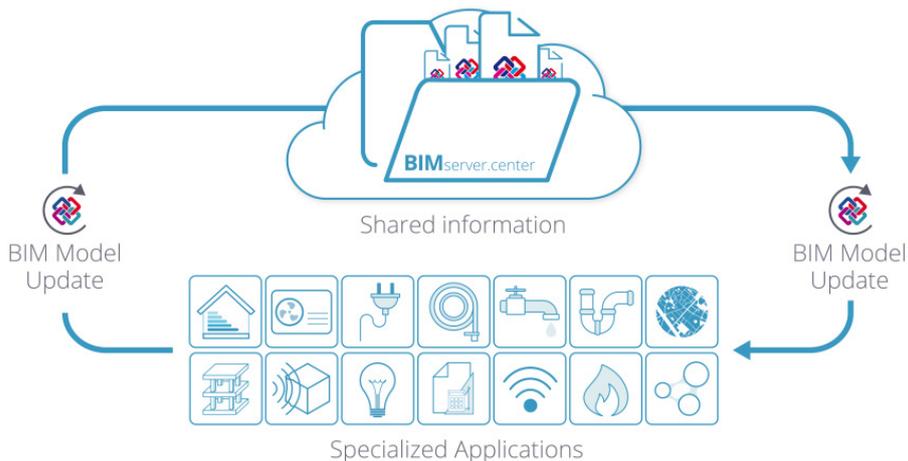


Figura 1
Fluxo de trabalho – software.

O BIMserver.center, de utilização gratuita, figura 2, é uma plataforma colaborativa OpenBIM, localizada na nuvem, destinada à partilha e troca de informação para o projeto de edifícios. Apresenta características como: a partilha de informação geométrica e não geométrica, através de ficheiros IFC; a sincronização da informação partilhada dos modelos das especialidades do projeto e a obtenção do modelo federado do edifício.

Figura 2
Plataforma BIMserver.
center.



Para a modelação da arquitetura, poderão ser utilizados softwares, tais como o Archi-cad, o Revit ou o CYPE Architecture [5]. Como softwares de engenharia podem ser utilizados quaisquer softwares que permitam efetuar a modelação das especialidades, um exemplo destes são os softwares CYPE que para além de realizarem a modelação também calculam e dimensionam.

O Open BIM Quantities, foi desenvolvido no âmbito do projeto europeu Circular BIM [6] [7] para integrar a medição, a orçamentação e a análise de impacte ambiental num fluxo de trabalho colaborativo, através da sincronização de ficheiros IFC e BC3.

As bases de dados deverão trabalhar com ficheiros de formato aberto BC3 como é o caso do Gerador de Preços. O Gerador de Preços, de utilização gratuita, é uma base de dados paramétrica e interativa, que atendendo aos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados, permite obter especificações técnicas das respetivas unidades de obra que incluem indicadores de impacte ambiental, resíduos gerados, fichas de custo, entre outros.

3.2. Funcionalidades do software Open BIM Quantities

Figura 3
Fluxo de trabalho do
Open BIM Quantities.



A figura 3 pretende resumir o fluxo de trabalho centrado no Open BIM Quantities. Após sincronizar o modelo BIM o Open BIM Quantities apresenta-o no ambiente de trabalho do programa, paralelamente apresenta uma árvore de componentes onde se podem identificar os componentes contidos no modelo. A estrutura de dados apresentados na árvore de componentes segue o esquema da norma IFC que pode ser visualizada de duas formas: por entidades ou por estrutura. No primeiro caso

apresenta uma árvore que organiza os componentes de acordo com a entidade IFC a que pertencem, “IfcWall”, “IfcSlab”, “IfcSpace”, etc. No segundo caso organiza a árvore com base na estrutura espacial do modelo BIM: local, edifício, piso e espaço. O software mostra também uma lista de parâmetros que dependem dos “IfcPropertySet” e dos “IfcQuantitySet” definidos no modelo IFC.

O Open BIM Quantities permite a incorporação de bases de dados. Podem ser criadas novas bases de dados ou importadas. O processo de vinculação entre os componentes do modelo e as linhas de medição de quantidades é baseado em regras de medição que lhes associam as correspondentes unidades de obra, contidas nas bases de dados.

Cada regra de medição corresponde a um conjunto de instruções, estas utilizam “operadores lógicos” que permitem realizar o filtro dos componentes, bem como a definição das “condições” necessárias, para realizar a sua associação às unidades de obra desejadas. Ou seja, o Open BIM Quantities possibilita o estabelecimento das regras de medição que se considerem adequadas, com o objetivo de ler os dados contidos nos componentes do modelo e associá-los a unidades de obra, obtendo assim a lista de medição de quantidades do edifício a partir da qual, com recurso novamente à base de dados, se determinam os respetivos indicadores ambientais, resíduos gerados e custos, contemplados na base de dados Gerador de Preços.

3.3. Funcionalidades do Gerador de Preços

O Gerador de Preços, publicado em 2004, é amplamente utilizado em 27 países, incluindo Portugal. Tal como descrito no capítulo 1, foi inicialmente concebido para proporcionar fichas de custo. Na versão portuguesa, foram implementados, em 2010, os dados relativos a resíduos gerados e, no âmbito do presente trabalho, foram implementados os dados relativos a indicadores de impacte ambiental. Os valores dos indicadores de impacte ambiental constantes no Gerador de Preços provêm na sua grande maioria de Declarações Ambientais de Produto, DAP, bem como de outros documentos de referência [8].

Tendo em consideração a classificação e a nomenclatura incluída na norma NP EN 15978:2019, são estabelecidas quatro etapas no ciclo de vida de uma construção: Produto: A1-A3; Construção: A4-A5; Utilização: B1-B7 e Fim de vida: C1-C4. Até ao momento atual foram introduzidas no Gerador de Preços as duas primeiras etapas: Produto (A1, A2 e A3) e Construção (A4 e A5). Para estas etapas implementaram-se sete indicadores de impacte ambiental e três de utilização de recursos, tabela 1.

Tabela 1: Indicadores de impacto ambiental e de utilização de recursos

Descrição do indicador	Abreviatura	Unidades
Potencial de aquecimento global	GWP	kg CO ₂ eq.
Potencial de depleção da camada do ozono estratosférico	ODP	kg CFC-11 eq.
Potencial de acidificação do solo e da água	AP	kg SO ₂ eq.
Potencial de eutrofização	EP	kg PO ₄ eq.
Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos do ozono troposférico	POCP	kg C ₂ H ₄ eq.
Potencial de depleção para os recursos abióticos não fósseis	ADPE	kg Sb eq.
Potencial de depleção para os recursos abióticos fósseis	ADPF	MJ
Uso total de energia primária renovável	PERT	MJ
Uso total de energia primária não renovável	PERNRT	MJ
Uso do valor líquido de água doce	FW	m ³

O Gerador de Preços apresenta os valores, para as etapas referidas, decompostos por materiais, embalagens, maquinaria e meios auxiliares. Esta informação pode ser consultada no separador “Indicadores de impacto ambiental” para cada unidade de obra.

3.4. Proposta de um processo automatizado

A figura 4 ilustra o processo automatizado desenvolvido no âmbito deste trabalho. O processo prevê o estudo de várias soluções de projeto e a respetiva comparação dos resultados. Sempre que seja estudada uma nova solução será analisada a necessidade de criar ou rever o conjunto de regras de medição estabelecido na iteração anterior. Para cada solução de projeto são determinadas as quantidades do edifício e identificadas as respetivas unidades de obra recorrendo à base de dados. De cada unidade de obra são extraídos os valores dos indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção. Através do produto destes valores pela medição de quantidades do edifício obtêm-se os resultados de cada solução de projeto. Segue-se a comparação dos resultados das soluções de projeto analisadas até à seleção da solução final. O processo termina com a partilha do modelo no BIMserver.center, o qual inclui a informação gerada que poderá ser consultada pelos colaboradores envolvidos no projeto.

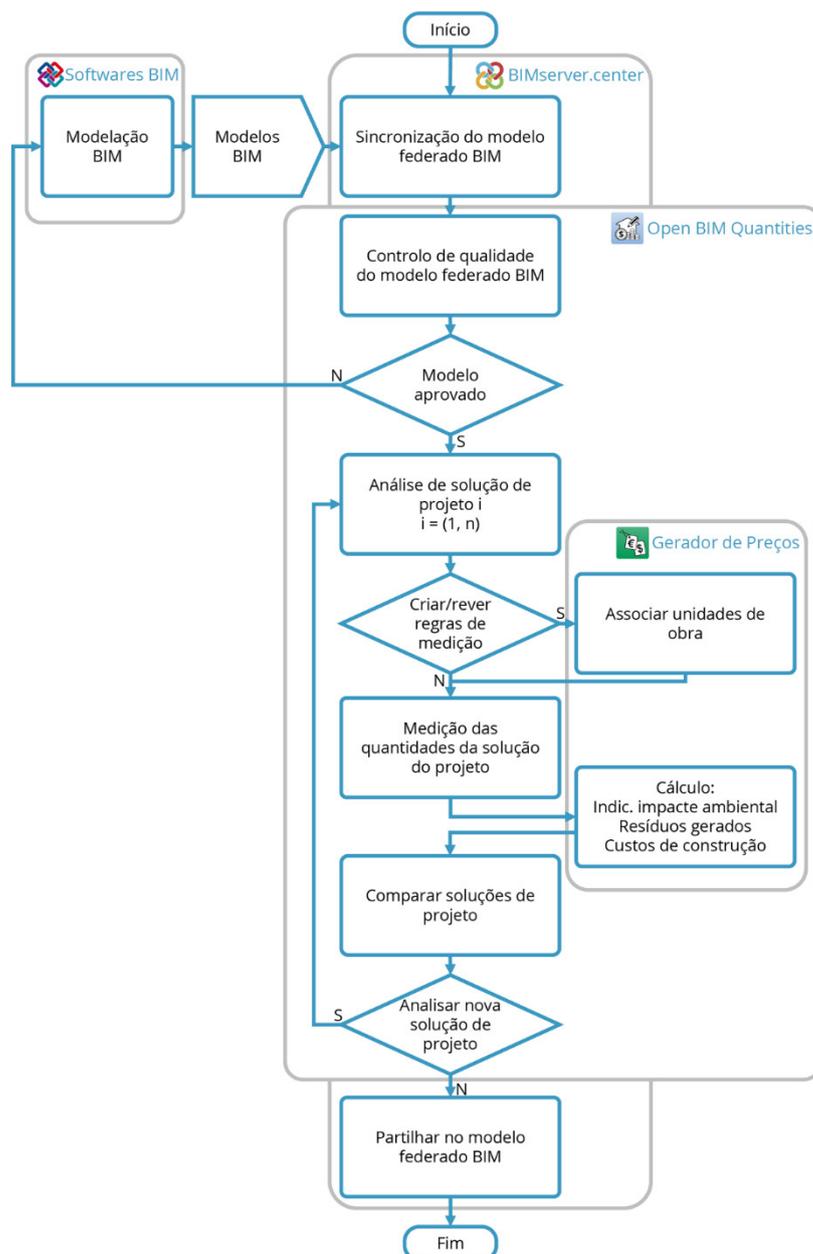


Figura 4
Processo automatizado para determinação de indicadores de impacte ambiental.

4. Caso de estudo

O caso de estudo teve como objetivo avaliar a implementação e o desempenho do processo. O propósito fundamental do processo automatizado proposto é fornecer informação para a tomada de decisão, com base em critérios de seleção a estabelecer para cada projeto. Neste contexto, foram também analisadas soluções de projeto alternativas, proporcionando condições para a tomada de decisão.

Para o projeto que serve de base ao caso de estudo foi desenvolvida, pelos autores, uma versão do edifício de habitação “Cube House” do arquiteto alemão Simon Ungers [5] [9]. Este edifício encontra-se localizado em Ithaca, nos Estados Unidos, e foi

construído com o pretexto de servir de refúgio de fim-de-semana. O edifício dispõe de rés do chão, primeiro andar e cobertura.

Numa primeira fase foram criados os modelos da arquitetura e das especialidades de engenharia para o edifício em causa, os quais foram partilhados na plataforma colaborativa BIMserver.center, onde é possível obter o modelo federado. Foram utilizados os softwares CYPE para a modelação e cálculo das várias especialidades do projeto.

4.1. Aplicação do processo automatizado

Numa segunda fase foi estruturada a informação no Open BIM Quantities, para isso foi utilizado o Gerador de Preços. Para cada um dos componentes que constituem o modelo BIM foram seleccionadas as unidades de obra adequadas. Como exemplo da informação contida no Open BIM Quantities, apresenta-se, na figura 5, a unidade de obra relativa ao sistema ETICS de revestimento exterior das fachadas.

Figura 5
Informação de uma unidade de obra.

Código	Ud	Resumo	Quantidade	Preço	Importância	Custo energético	Emissão de CO2	Massa unitária do resíduo	Volume unitário do resíduo
FSM010	m ²	Sistema ETICS de isolamento térmico pelo exterior de fach...	1 m ²	59.81	59.81	246.238230 MJ/m ²	11.185280 kg/m ²	1.282021 kg/m ²	0.001509 m ³ /m ²
mt28mop080f	m	Perfil de arranque de alumínio, de 60 mm de largura, c...	0.170 m	1.78	0.30	7.694880 MJ	0.564400 kg		
mt28mop085f	m	Perfil de fecho superior, de alumínio, de 60 mm de larg...	0.170 m	6.49	1.10	4.648940 MJ	0.340340 kg		
mt28mop030ta	kg	Argamassa tipo GP W2, segundo EN 998-1, composta ...	10.400 kg	0.75	7.80	24.897600 MJ	2.017600 kg		
mt16pep010ad	m ²	Painel rígido de poliestireno expandido, segundo NP E...	1.050 m ²	8.97	9.42	120.641850 MJ	4.215750 kg		
mt16pep100c	Ud	Bucha de expansão de polipropileno, de 120 mm de co...	8.000 Ud	0.20	1.60	9.232000 MJ	0.768000 kg		
mt28mop050a	m ²	Malha de fibra de vidro, anti-álcalis, de 5x4 mm de vão...	1.100 m ²	1.58	1.74	14.854400 MJ	0.730400 kg		
mt28mop070b	m	Perfil de canto de PVC com malha, para reforço de can...	0.300 m	0.50	0.15	3.570000 MJ	0.256500 kg		
mt28mop320a	kg	Primário acrílico, composto por resinas acrílicas, pigm...	0.220 kg	3.41	0.75	19.087420 MJ	0.724680 kg		
mt28mop310ma	kg	Argamassa acrílica, cor branco, composta por resinas a...	2.500 kg	3.07	7.68	37.787500 MJ	1.447500 kg		
mt15bas010a	m	Cordão de polietileno expandido de células fechadas, ...	0.170 m	0.06	0.01	1.552780 MJ	0.009690 kg		
mt15bas035a	Ud	Cartucho de massa elastomérica tixotrópica, monoco...	0.020 Ud	8.24	0.16	2.269960 MJ	0.110420 kg		
mo054	h	Oficial de 1ª montador de isolamentos.	0.100 h	20.72	2.07	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo101	h	Ajudante de montador de isolamentos.	0.100 h	19.67	1.97	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo039	h	Oficial de 1ª rebocador.	0.600 h	20.15	12.09	0.000000 MJ	0.000000 kg		
mo079	h	Ajudante de rebocador.	0.600 h	19.67	11.80	0.000000 MJ	0.000000 kg		
%	%	Custos directos complementares	2.000 %	58.64	1.17				

Foram criadas as regras de medição para a extração das quantidades do modelo. Os componentes dos quais se pretende extrair as medições, como janelas, pilares ou paredes, etc., são seleccionados através de um conjunto de filtros. Após a seleção dos componentes são sincronizadas as unidades de obra que se pretendem medir. Como exemplo das regras de medição criadas apresenta-se o caso da medição dos tetos, figura 6.

Figura 6
Regra de medição dos tetos.

Seleção			
Op	Parâmetro	Condição	Valor
	\$(Property){BaseProperties}{Entity}	igual	IfcSpace
E	\$(Property){BaseProperties}{Application}	igual	CYPE Architecture
.....			
Unidades de obra			
Ca	Código	Ud	Referência
RT	RTC015	m ²	Tecto falso contínuo de placas de gesso laminado.
RI	RIP035	m ²	Pintura com tinta plástica sobre paramento interior de gesso projectado ou placas de gesso lamina...
			Fôr B
			\$(Quantity){Qto_SpaceBaseQuantities}{NetCeilingArea}
			\$(Quantity){Qto_SpaceBaseQuantities}{NetCeilingArea}
			C D Agri
			-
			-

Nesta fase estão reunidas as condições para a extração das medições do modelo BIM.

A partir da informação presente em cada unidade de obra foi, assim, possível extrair os indicadores de impacto ambiental: uso total de energia primária renovável e não renovável (Custo energético) e emissões de CO₂ equivalente (Emissão de CO₂). Foram ainda obtidos os resíduos gerados em massa e em volume e o custo de construção (Importância). As figuras 7 e 8 apresentam, a título de exemplo, os resultados para o modelo federado apenas com as especialidades de arquitetura e estrutura.

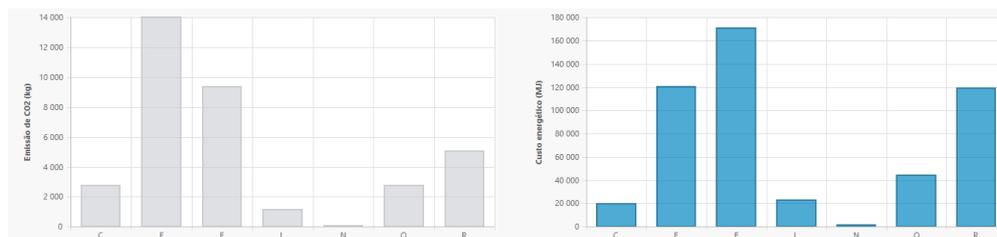
Orçamento									
Código	Ud	Resumo	Quantidade	Preço	Importância	Custo energético	Emissão de CO2	Massa total do resíduo	Volume total do resíduo
Orçamento		Orçamento			74,677.14	499,134.541141 MJ	35,116.345214 kg	4,950.417912 kg	4.029364 m³
C		Fundações			2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
CS		Superficiais			2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
CSV010	m²	Sapata continua de...	7.00	317.28	2,220.96	19,716.025000 MJ	2,743.454000 kg	83.392400 kg	0.053935 m³
E		Estruturas			23,582.66	200,501.441664 MJ	13,995.221133 kg	462.419552 kg	0.335782 m³
EH		Betão armado			16,487.25	112,087.944664 MJ	13,558.712133 kg	448.040432 kg	0.328935 m³
EHE010	m²	Laje de escada.	3.46	115.47	399.53	5,063.278649 MJ	243.218465 kg	32.760402 kg	0.027621 m³
EHL010	m²	Laje maciça.	104.88	99.98	10,485.90	72,141.374377 MJ	9,022.901389 kg	229.797848 kg	0.177666 m³
EHM010	m²	Muro de betão.	5.16	369.88	1,908.58	13,334.080046 MJ	1,904.756621 kg	64.685621 kg	0.041295 m³
EHS010	m³	Pilar rectangular o...	2.00	820.13	1,640.26	8,437.349166 MJ	925.785302 kg	59.860992 kg	0.041694 m³
EHW010	m³	Viga de betão arma...	3.75	547.46	2,052.98	13,111.862426 MJ	1,462.050356 kg	60.335569 kg	0.040659 m³
EA		Metálicas			7,095.41	8,413.497000 MJ	436.509000 kg	14.379120 kg	0.006847 m³
EAE010	kg	Aço em estrutura d...	855.90	8.29	7,095.41	8,413.497000 MJ	436.509000 kg	14.379120 kg	0.006847 m³
F		Fachadas			24,146.68	170,872.821587 MJ	9,369.579813 kg	3,424.105710 kg	2.851613 m³
FF		Alvenaria não estrutural			7,820.61	128,511.145214 MJ	7,442.292084 kg	3,203.909865 kg	2.592426 m³
FFQ010	m²	Pano de parede div...	49.09	14.78	725.55	9,720.441872 MJ	743.465497 kg	347.215925 kg	0.278978 m³
FFR010	m²	Pano interior de fa...	171.71	16.81	2,886.45	48,933.619257 MJ	2,571.229669 kg	1,328.135812 kg	1.074903 m³
FFZ010	m²	Pano exterior de fa...	171.71	24.51	4,208.61	69,857.084085 MJ	4,127.596918 kg	1,528.58128 kg	1.238545 m³
FS		Fachadas ETICS			10,269.98	42,281.566473 MJ	1,920.624429 kg	220.135825 kg	0.259112 m³
FSM010	m²	Sistema ETICS de is...	171.71	59.81	10,269.98	42,281.566473 MJ	1,920.624429 kg	220.135825 kg	0.259112 m³
FD		Proteções e gradeame...			6,056.09	80,109900 MJ	6,663300 kg	0.060020 kg	0.000075 m³
FDD115	m	Guarda de escada, ...	25.05	241.76	6,056.09	80,109900 MJ	6,663300 kg	0.060020 kg	0.000075 m³
L		Vãos			4,066.19	23,115.499962 MJ	1,115.627949 kg	11.145225 kg	0.013024 m³
LE		Portas exteriores			408.05	4,124.559000 MJ	35.911200 kg	1.954446 kg	0.002144 m³
LEM010	Ud	Porta interior de en...	1.00	408.05	408.05	4,124.559000 MJ	35.911200 kg	1.954446 kg	0.002144 m³
LP		Portas interiores			232.75	3,314.503600 MJ	16.344000 kg	1.827105 kg	0.001973 m³
LPM010	Ud	Porta interior de ba...	1.00	232.75	232.75	3,314.503600 MJ	16.344000 kg	1.827105 kg	0.001973 m³
LC		Caixilharias			2,695.25	7,465.480000 MJ	516.183200 kg	2,559685 kg	0.003540 m³
LCL060	Ud	Caixilharia exterior ...	5.00	539.05	2,695.25	7,465.480000 MJ	516.183200 kg	2,559685 kg	0.003540 m³
LV		Vidros			730.14	8,210.957362 MJ	547.189549 kg	4.803989 kg	0.005367 m³
LVC010	m²	Vidro duplo standa...	13.22	55.23	730.14	8,210.957362 MJ	547.189549 kg	4.803989 kg	0.005367 m³
N		Isolamentos e impermeabil...			347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
NB		Isolamentos acústicos			347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
NBL020	m²	Isolamento acústic...	66.24	5.24	347.10	1,683.007373 MJ	62.387482 kg	2.594091 kg	0.004306 m³
Q		Coberturas			4,328.82	44,154.868848 MJ	2,777.668398 kg	269.744362 kg	0.229126 m³
QA		Planas acessíveis			4,328.82	44,154.868848 MJ	2,777.668398 kg	269.744362 kg	0.229126 m³
QAB040	m²	Cobertura plana ac...	36.00	103.22	3,715.92	37,065.895560 MJ	2,524.879440 kg	254.285892 kg	0.213552 m³
QAF020	m	Encontro de cobert...	24.00	23.50	564.00	6,834.347088 MJ	245.821608 kg	15.075984 kg	0.015144 m³
QAF030	Ud	Encontro de cobert...	1.00	48.90	48.90	254.626200 MJ	6.967350 kg	0.382486 kg	0.000430 m³
R		Revestimentos			15,984.73	119,090.876707 MJ	5,052.406439 kg	697.016572 kg	0.541578 m³
RA		De paredes em placas			2,311.22	8,160.710270 MJ	707.612480 kg	50.963652 kg	0.034014 m³
RAG110	m²	Revestimento interi...	72.68	31.80	2,311.22	8,160.710270 MJ	707.612480 kg	50.963652 kg	0.034014 m³
RI		Pinturas interiores			1,055.75	2,725.200770 MJ	116.299380 kg	6.109813 kg	0.007218 m³
RIP035	m²	Pintura com tinta p...	180.47	5.85	1,055.75	2,725.200770 MJ	116.299380 kg	6.109813 kg	0.007218 m³
RP		Conglomerados tradici...			2,780.41	18,873.991847 MJ	1,440.063289 kg	301.977595 kg	0.243376 m³
RPE005	m²	Emboço de ciment...	186.91	13.58	2,538.24	17,561.749591 MJ	1,377.112507 kg	274.795802 kg	0.215133 m³
RPG011	m²	Acabamento de ge...	114.23	2.12	242.17	1,312.242256 MJ	62.950782 kg	27.182513 kg	0.028443 m³
RQ		Sistemas monomassa			4,809.60	15,109.363885 MJ	979.887154 kg	187.789268 kg	0.131874 m³
RQO010	m²	Argamassa mono...	171.71	28.01	4,809.60	15,109.363885 MJ	979.887154 kg	187.789268 kg	0.131874 m³
RS		Pavimentos			3,494.96	38,192.875743 MJ	1,007.941000 kg	114.478050 kg	0.089921 m³
RSB020	m²	Base de argamassa ...	66.24	11.74	777.66	10,823.589504 MJ	903.877920 kg	61.666526 kg	0.041797 m³
RSG011	m²	Pavimento de ladril...	11.11	20.60	228.87	3,978.805413 MJ	242.255772 kg	26.064694 kg	0.020987 m³
RSM040	m²	Parquet multicama...	55.13	39.41	2,172.67	20,747.097709 MJ	-102.842258 kg	25.341497 kg	0.025691 m³
RSM050	m	Rodapé de madeira.	53.61	5.89	315.76	2,643.383117 MJ	-35.350434 kg	1.405333 kg	0.001446 m³
RT		Tetos falsos			1,532.79	36,028.734192 MJ	800.603136 kg	35.698194 kg	0.034975 m³
RTC015	m²	Tecto falso continu...	66.24	23.14	1,532.79	36,028.734192 MJ	800.603136 kg	35.698194 kg	0.034975 m³

Figura 7

Quadro dos resultados do modelo federado de arquitetura e estrutura.

Figura 8

Gráficos dos resultados do modelo federado de arquitetura e estrutura.



4.2. Estudo de soluções alternativas

De modo a aferir as soluções de projeto que apresentem os melhores indicadores de impacto ambiental, foram estudadas várias soluções construtivas das quais se apresenta um exemplo com duas alternativas. Na alternativa 1, o material das caixilharias, que na solução base tinha sido previsto em alumínio, foi alterado para PVC. Na alternativa 2, o sistema de isolamento térmico pelo exterior da solução base, constituído por painéis de poliestireno expandido, foi alterado para painéis de fibra da madeira. Os resultados globais da obra são apresentados na tabela 2, para a solução base, a alternativa 1, a alternativa 2 e para o conjunto das alternativas 1 e 2.

Tabela 2: Resultados da alternativa 1 e alternativa 2

Resultado	Solução base	Alter.1	Alter.2	Alter.1+Alter.2
Importância (€)	74 677,14	73 743,04	79 122,71	78 188,61
Custo energético (MJ)	499 134,54	496 351,48	492 503,49	489 720,43
Emissão de CO ₂ (kg CO ₂ eq.)	35 116,35	35 060,46	34 780,37	34 724,49
Massa total do resíduo (kg)	4 950,42	4 949,37	4 961,51	4 950,46
Massa total do resíduo (m ³)	4,03	4,03	4,07	4,06

O processo permitiu, assim, obter rapidamente os valores globais dos indicadores de impacto ambiental, bem como os resíduos gerados e os custos de construção. Conclui-se que o processo proporciona as condições para que, com base nos resultados que se obtêm, seja possível a tomada de decisão, a partir de critérios de seleção estabelecidos para cada projeto.

5. Conclusões

O processo proposto permite determinar indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção de edifícios. O processo procura dar visibilidade à análise de impacto ambiental, sem esforço adicional, uma vez que esta é realizada a partir da medição de quantidades necessária em cada projeto para a respetiva orçamentação.

O fluxo de trabalho apresentado pode incluir modelos em IFC de qualquer especialidade do projeto de edifícios. O processo pressupõe que cada modelo contemple o uso BIM da determinação de medição de quantidades. São, então, determinadas automaticamente as medições dos componentes do modelo federado e a partir destas

medições o processo calcula automaticamente os indicadores de impacto ambiental, resíduos gerados e custos de construção, do edifício, mediante a utilização de uma base de dados que contém informação de sustentabilidade e custos. A automatização do processo reduz o tempo para a obtenção dos resultados, através de uma maior precisão e transparência na informação gerada, cujo detalhe permite facilmente rastrear os resultados obtidos.

O caso de estudo permitiu demonstrar a utilidade do processo automatizado para determinação de indicadores de impacto ambiental, bem como a sua pertinência para o estudo de soluções alternativas, proporcionando informação em tempo real. Paralelamente proporcionou os resíduos gerados e os custos de construção, elementos relevantes para a tomada de decisão.

Apesar do Open BIM Quantities e do processo apresentado não terem limitações, devido às restrições do formato BC3, atualmente, apenas três dos indicadores disponíveis são utilizados: GWP, PERT e PERNRT, no entanto, o Gerador de Preços abrange outros indicadores. Assim, planeia-se estender a utilização aos restantes, preferencialmente através do BC3 ou IFC. Para que a ampliação seja possível, aguarda-se a evolução destes formatos, caso não ocorra essa evolução, é possível considerar a utilização do IFC por meio de propriedades não normalizadas no formato.

Referências

- [1] A. Roldán, "Quantity take-off and cost estimating with OpenBIM models: process automation for buildings," Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2023.
- [2] FIEBDC, "Formato FIEBDC-3," 2020. [Online]. Disponível: <https://www.fiebdc.es/web2/datos/uploads/Formato-FIEBDC-3-2020v2.pdf> [acedido a 02/10/2023].
- [3] Open BIM Quantities. [Online]. Disponível: <https://info.cype.com/pt/software/open-bim-quantities/> (acedido a 23/11/2023).
- [4] 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.
- [5] P. Assis, R. Figueira, P. Oliveira and C. Costa, "Conceção de software de arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho Open BIM," in *4.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2022, pp. 50-61. doi: 10.21814/uminho.ed.32.
- [6] M. Serrano-Baena, C. Ruiz-Díaz, P. Gilabert, and P. Mercader-Moyano, "Optimising LCA in complex buildings with MLCAQ: A BIM-based methodology for automated multi-criteria materials selection", *Energy & Buildings*, vol. 294, pp. 1-13, September 2023. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113219.

- [7] CircularBIM. [Online]. Disponível: <https://circularbim.eu/> (acedido 22/03/2023).
- [8] Impacte ambiental. Análise do ciclo de vida. [Online]. Disponível: <https://info.cype.com/pt/produto/impacte-ambiental-analise-do-ciclo-de-vida/#analise-do-ciclo-de-vida> (acedido a 20/02/2024).
- [9] Cube House, (n.d.). [Online]. Disponível: <https://arquitecturaviva.com/works/casa-cubo-ithaca> (acedido a 02/10/2023).

BIM to BEM: limitações e vantagens do modelo de dados gbXML. Estudo preliminar de aplicação no Palácio Monserrate

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.22>

**Rita Machete¹, Ana Paula Falcão²,
Maria Glória Gomes³, Rita Bento⁴**

¹ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0003-3106-9337

² CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0002-3626-7634

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0003-1499-1370

⁴ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal,
orcid.org/0000-0002-6503-0644

Resumo

A utilização de modelos BIM (Building Information Modelling) na simulação energética de edifícios (BEM Building Energy Modelling) tem sido objeto de discussão no âmbito da promoção do processo de digitalização do sector da construção. A gestão eficiente das condições ambientais no interior dos edifícios é importante na gestão sustentável de edifícios em geral, sendo particularmente importante em edifícios com valor patrimonial aberto a visitas ao público, devido à necessidade de conservação do espólio exposto.

Os modelos BIM permitem armazenar e manipular informações geométricas e não geométricas dos edifícios, essenciais à modelação analítica de consumos energéticos em *software* dedicados, como o *EnergyPlus* (DOE), no formato gbXML (Green Building XML) desenvolvido por Green Building. Embora o modelo de dados gbXML tenha limitações, não permitindo a transição total da complexidade geométrica e da composição técnica e material diretamente do BIM para o *EnergyPlus*, permite explorar elementos de origem BIM em outros *softwares*, como o *OpenStudio*. Este último possibilita, através de uma interface gráfica, criar ficheiros de *input* para a análise de desempenho energético de edificações mais detalhadas no *EnergyPlus*.

Este artigo aborda o problema da interoperabilidade entre os *software* em ambiente BIM (*Autodesk Revit*) e BEM (*OpenStudio – EnergyPlus*), apresentando as principais limitações e desafios da transferência de informação entre os diferentes modelos. O caso de estudo selecionado é o Palácio de Monserrate, obra-prima do romantismo, devido à sua importância como património cultural português e da Paisagem Cultural de Sintra, para o qual foi construído um modelo BIM com base num levantamento por varrimento laser e enriquecido com informação não geométrica.

1. Introdução

O sector da construção necessita de considerar não só o consumo energético, mas também o conforto do edificado, tanto em fase de projeto de construção nova e potenciais reabilitações, como ao longo do uso. Desta forma, a simulação energética torna-se uma necessidade para a avaliação do projeto do edificado, sendo muitas vezes necessário recorrer a programas de simulação energética de edifícios para prever as condições ambientais de conforto térmico e o consumo de energia de um edifício [1].

A Modelação Energética de Edifícios (BEM) permite realizar simulações energéticas, que visam avaliar diferentes alternativas de design; comparar e selecionar soluções da envolvente térmica e sistemas de climatização; estimar consumos de energia e os custos associados; verificar os requisitos de qualidade térmica e energética, à luz da regulamentação em vigor; e otimizar a solução escolhida, durante o processo de conceção e reabilitação do edifício [2]. No entanto, presentemente o BEM não está ainda suficientemente integrado e sincronizado com o processo digital de planeamento e conceção e, além disso, estas soluções ainda não beneficiam do fluxo contínuo de informação na modelação digital. Deste modo, as informações relacionadas com a simulação energética têm muitas vezes de ser reintroduzidas manualmente nas ferramentas BEM, o que é considerado moroso, dispendioso e trabalhoso, embora essas informações já estejam disponíveis em modelos de projeto digitais (por exemplo, BIM) [3].

A abordagem BIM permite a representação digital de instalações, funcionando como uma base de dados associada a objetos, inteligente e paramétrica, que pode fornecer dados adequados às necessidades de vários utilizadores. O BIM também pode ser utilizado para extrair e analisar informações que apoiam os projetistas a tomar decisões, permitindo transferir informações e promovendo a interoperabilidade de várias ferramentas de *software* utilizados na conceção arquitetónica, estrutural, mecânica, elétrica e na construção de edifícios [4].

Desta forma, a ligação do modelo BIM de projeto com o BEM de análise permite agilizar o processo, mantendo coerência e precisão. Assim, a interoperabilidade entre os modelos BIM e BEM pode ser um passo em frente na redução de custos e na poupança de tempo de recriação de modelos, dado que o BIM pode já armazenar dados importantes para a simulação energética, tais como a geometria do edifício, a tipologia de construção e as propriedades térmicas dos materiais, e características do sistema AVAC. Por este motivo, existe atualmente um interesse significativo em simplificar a criação de um BEM a partir da ferramenta de criação BIM, partilhando e exportando os dados do modelo arquitetónico [5].

2. Materiais e métodos

O presente artigo pretende, assim, contribuir para o avanço no conhecimento sobre as principais vantagens e limitações do modelo de dados gbXML na modelação

“BIM to BEM”, aplicando a um caso de teste BESTEST – *Building Energy Simulation Test and Diagnostic* e a um caso de estudo do Palácio de Monserrate.

Para a interoperabilidade entre BIM e BEM, é essencial a transferência de dados entre os dois modelos. O modelo de dados no formato gbXML foi desenvolvido pela *Autodesk Green Building*, que se baseia no formato *Extensible Markup Language* (XML), e permite a troca de dados entre diversos *softwares* BIM populares (por exemplo, *Revit*, *ArchiCAD*) e aplicações de análise energética (por exemplo, *EnergyPlus*, *e-QUEST*).

Pode obter-se um ficheiro gbXML formatado a partir de ferramentas BIM e depois proceder à sua importação para ferramentas BEM relevantes para obter resultados da simulação energética do edifício. Este procedimento oferece uma abordagem mais flexível e direta para a análise energética por transferência de informação, nomeadamente da geometria do edifício, das propriedades dos materiais da envolvente térmica, das zonas térmicas e dados referentes aos sistemas AVAC e localização do edifício [5]. Segundo Gao *et al.* [3], a transferência de informações proveniente do BIM para BEM está dividida em seis categorias: geometria (etapa 1), material (etapa 2), tipo de espaço (etapa 3), zona térmica (etapa 4), cargas térmicas do espaço (etapa 5) e sistemas AVAC (etapa 6).

No presente estudo, cujo objetivo principal é determinar limites de interoperabilidade entre os *softwares* BIM (em *Revit*) e BEM (em *OpenStudio/EnergyPlus*), foi utilizado, numa primeira fase, um modelo de simulação energética de teste, pré-estabelecido, que permitiu identificar as informações necessárias para estas simulações e os resultados esperados. Assim, numa primeira abordagem, de forma a funcionar como calibração do modelo, foi implementado como caso de estudo o modelo de edifício do caso base do BESTEST (caso 600). Para este processo (Figura 1), foi utilizado o *software* de modelação BIM *Autodesk Revit 2024*, que permite exportação de dados em formato gbXML, compatível com a interface gráfica BEM *OpenStudio Application* versão 1.6.0, que efetua as simulações energéticas através de *EnergyPlus* versão 23.1.0. Após essa calibração do modelo, e identificação das principais limitações na interoperacionalidade entre os modelos BIM e BEM, foi realizado um estudo preliminar de aplicação a um caso de estudo real – o Palácio de Monserrate.

Figura 1

Fluxograma geral, do procedimento de transferência de informação de modelo BIM (em *Revit*) para modelo BEM (em *OpenStudio/EnergyPlus*) através do formato gbXML.



3. Calibração do modelo

O BESTEST é um projeto desenvolvido pela IEA (*International Energy Agency*) para validar programas de simulação energética de edifícios [6]. Este projeto tem como base um conjunto de testes que avaliam os processos térmicos num edifício em diferentes programas de simulação energética, permitindo identificar e quantificar as discrepâncias de resultados para as mesmas condições geométricas e materiais simuladas. Para possibilitar uma validação consistente de programas de simulação energética, foi utilizada a norma norte-americana ASHRAE Standard 140 (Método Padrão de Teste para Avaliação de Programas de Análise Energética de Edifícios) [6], que apresenta uma série de casos teste BESTEST – *Building Energy Simulation Test and Diagnostic*.

No presente estudo foi seguida a metodologia descrita no fluxograma da Figura 2. Assim, o primeiro passo para a implementação da modelação BIM para BEM do caso de teste BESTEST e representar as seis categorias de informação descritas no capítulo 2, é a modelação geométrica em *Autodesk Revit*. A geometria para o caso BESTEST 600 (*Base Case Low Mass Building*) consiste num edifício retangular com 8m x 6m x 2,7m, com dois vãos envidraçados 3m x 2m que totalizam 12m² de área de envidraçados. Estas dimensões são referentes ao espaço interior em análise, contudo no modelo BIM cada espaço é criado através da linha média das paredes, pelo que houve a necessidade de efetuar os devidos ajustes nas dimensões do modelo BIM.

A segunda etapa refere-se à caracterização dos materiais associados às soluções construtivas da envolvente térmica do edifício. Os materiais de construção considerados são: paredes: gesso cartonado (12mm) + manta de isolamento de lã mineral de vidro (66mm) + madeira (9mm); piso: soalho de madeira (25mm) + isolamento térmico (material sem densidade com 1m); e cobertura: gesso cartonado (10mm) + manta de isolamento de lã mineral de vidro (111mm) + madeira (19mm). Uma descrição detalhada das soluções construtivas pode ser encontrada na Secção 5.2.1 da ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 [6]. Estes elementos devem ser definidos em ambiente BIM, através da definição de materiais com as características termofísicas indicadas e associação aos elementos geométricos de acordo com as soluções construtivas estabelecidas. Este processo é relativamente elementar e simples de implementar, com exceção do caso do isolamento térmico do pavimento que, segundo o BESTEST, deve ser um material sem massa volúmica associada. Contudo, tal categoria não existe em *Autodesk Revit*, assinalando o primeiro desvio em relação ao guia de teste, tendo assim sido atribuída uma massa volúmica adequada para este tipo de material (que é reduzida). De referir também o facto da informação associada aos envidraçados proveniente do *Autodesk Revit* ter menor detalhe do que aquela possível de atribuir em *software* BEM, sendo assim expectável que possa introduzir algum impacto nos resultados finais da simulação.

Passando para terceira e quarta etapa, foi criado o espaço e zona térmica que no BESTEST 600 é apenas um; contudo, o *software* permite a criação de múltiplos espaços e zonas térmicas. A este espaço é possível atribuir características referentes

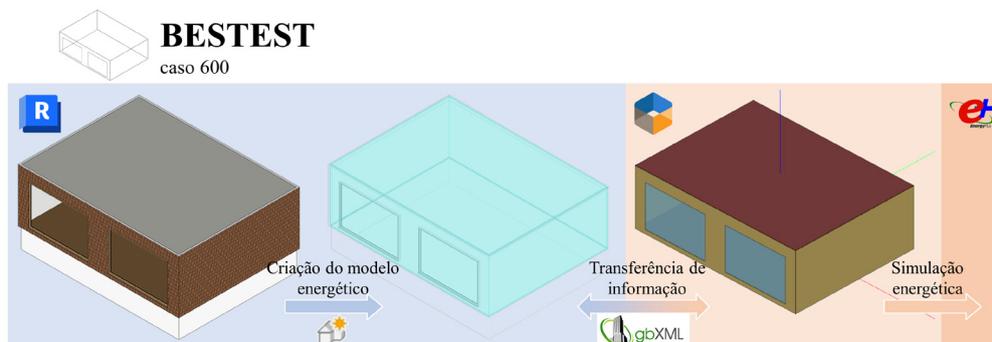
ao tipo de uso e parâmetros de análise energética, como o valor de infiltração de ar, considerado no presente caso de 0.5 renovações de ar por hora, tal como indicado em [6], e as cargas térmicas associadas ao espaço. De referir também que, entre as características que descrevem o BESTEST, a informação da temperatura do solo não existe em *Autodesk Revit*.

Em relação à última etapa referente ao sistema AVAC, o *Autodesk Revit* permite a indicação das características do sistema no espaço e a criação do sistema detalhado através da colocação de equipamentos no modelo.

De seguida, com o modelo detalhado em BIM é necessário aplicar a análise energética do *Autodesk Revit* através da criação do modelo energético. No separador relevante para a criação deste modelo pode indicar-se a localização do caso de estudo e alterar as configurações do modelo energético. Existem 3 modos para criar o modelo analítico de desempenho energético de edifícios a partir do modelo arquitetónico, através da utilização de: elementos de construção; massas conceptuais e elementos de construção; e, divisões ou espaços. No presente estudo, em que foi criado um modelo arquitetónico detalhado, devem ser usados os elementos de construção e selecionado 'elementos detalhados'. Caso não sejam selecionadas estas opções o *software*, por defeito, vai atribuir elementos conceptuais pré-determinados pelo *software*. Com o modelo energético criado, nesta fase, pode proceder-se à exportação do ficheiro em formato gbXML.

Figura 2

Fluxograma BESTEST caso 600 – modelo em *Revit* (esquerda), modelo energético *Revit* (centro), importação do formato gbXML proveniente do *Revit* em *OpenStudio* (direita).



Após a criação do ficheiro gbXML, este tem de ser importado para *software* intermédio de interface gráfica BEM – *OpenStudio Application* –, necessário para possibilitar as simulações energéticas através do programa de simulação dinâmica *EnergyPlus*. Após a importação do gbXML no *OpenStudio*, é possível observar a geometria, e referente construção, com os materiais associados e relativas especificações térmicas; porém, os nomes associados aos materiais são substituídos por códigos (por exemplo, 'aim0014'). Também se podem observar os espaços e zonas; contudo, os detalhes referentes às características do tipo de uso e parâmetros de análise energética são perdidos na exportação entre *Autodesk Revit* e o ficheiro gbXML, sendo apenas convertida a geometria destes. A localização também é perdida neste processo, o que consiste numa limitação assinalável na interoperacionalidade entre modelos BIM e BEM, sendo deste modo necessário reintroduzir esta informação no modelo BEM.

Alguns destes dados podem ser adicionados na interface *OpenStudio* e efetuar a simulação através desta, contudo a temperatura do solo não está disponível na interface tornando necessária a edição diretamente em *EnergyPlus*, no ficheiro idf, que pode ser obtido através da interface *OpenStudio*. Tendo em conta que foi possível converter a informação geométrica a partir do ambiente BIM, optou-se por não editar esta, tendo sido apenas acrescentados os campos completamente em falta, como a localização (e ficheiro climático associado, que no caso do BESTTEST 600, é USA CO Denver-Stapleton), temperatura do solo, as listas de calendário, as cargas térmicas associadas ao espaço e informação referente ao AVAC. Os resultados da simulação obtidos foram de 5.37 MWh para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, e de 7.961 MWh para necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento. De forma a determinar o impacto da metodologia implementada no presente estudo, os resultados obtidos foram comparados com os resultados pré-calculados disponíveis no repositório do GitHub BESTEST-GSR (*Building Energy Simulation Test – Generation Simulation and Reporting*) [7] referentes ao *EnergyPlus*, de respetivamente 4.324 MWh e 6.027 MWh, para necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento. Algum desvio era expectável dadas as limitações previamente mencionadas, nomeadamente as características de materiais sem massa volúmica e de envidraçados que não foram alteradas após importação, para além de não se estar a utilizar uma versão mais atualizada do *EnergyPlus*. Desta forma, pode concluir-se que este processo é uma mais-valia para transferência de informação geométrica e de informação simples de materiais; contudo, se o caso em estudo incluir dados mais especializados estes devem ser corrigidos no *software* de simulação.

Para a importação dos resultados para modelo BIM, na presente versão *Autodesk Revit* existe uma ferramenta de importação de ficheiro gbXML; contudo, a presente versão deste ficheiro não transporta os resultados calculados. Assim, é necessária a importação dos resultados de forma manual ou através de script *Dynamo*.

4. Estudo preliminar aplicado ao caso de estudo do Palácio de Monserrate

O caso em estudo é o Palácio de Monserrate em Sintra (Figura 3) que, devido à sua identidade pertence à Paisagem Cultural de Sintra classificada como Património Mundial pela UNESCO desde 1995. A preservação do palácio, do espólio exposto e da sua envolvente determinam a sua relevância para a presente investigação.

Para a aplicação da metodologia no caso de estudo, devido à sua complexidade, os trabalhos iniciaram-se com o levantamento geométrico. Este levantamento foi realizado com um sistema de varrimento laser e funciona como base para a modelação geométrica BIM. No total foram realizados 336 *scans* com o *laser scanner* Faro Focus S70, processados para criar uma nuvem de pontos detalhada. Para georreferenciar o modelo, foi efetuado um levantamento topográfico com um recetor GNSS (*Global navigation satellite system*) e uma estação total com o apoio de alvos topográficos

localizados em pontos estratégicos. A fim de determinar as soluções estruturais e construtivas do palácio, foram consultados registos históricos, e analisados os elementos expostos (como as paredes visíveis ao nível da fundação), e foram aplicados ensaios não-destrutivos como o GPR (*Ground-penetrating radar*) e termografia, em pontos estratégicos. Foram realizados 22 polígonos de inspeção 3D com georadar 1.6 GHz, 4 perfis discretos em pilares, e dois perfis discretos de georadar 500MHz no pavimento, pela Morph Geociências, Lda, e coordenado pela equipa do IST.

O modelo H-BIM foi construído com recurso ao *software Autodesk Revit*, atuando como plataforma centralizadora da informação, servindo de base à construção do modelo geométrico estrutural [8] e energético. Deste modo, o nível de detalhe da representação foi simplificado, considerando várias abordagens para encontrar um equilíbrio entre as utilizações pretendidas, apoiando-se na criação de atributos que permitem operações ao longo do ciclo de vida do edifício.

Figura 3

Caso de estudo – Palácio de Monserrate em Sintra (esquerda), nuvem de pontos (centro), e modelo BIM (direita).



Com o modelo BIM criado, o passo seguinte consiste no desenvolvimento do modelo energético. Ao contrário do modelo BESTEST, em que os elementos modelados são simples e todos os representados são relevantes para a criação do modelo energético, para o caso do palácio é importante ter em conta o impacto da complexidade do modelo, e em especial o impacto dos elementos curvos. Para este fim é importante fazer uso das ferramentas disponíveis de visibilidades e resolução. Assim, o primeiro passo será a implementação de visibilidades, isolando os elementos não relevantes e de impacto mínimo para a simulação, reduzindo ao mínimo a complexidade do espaço. Para a criação do modelo energético, como mencionado anteriormente, estes podem fazer uso dos elementos construídos ou dos espaços provenientes no modelo BIM; contudo, neste caso não é adequado o uso de espaços dado que ignoram formas complexas de volume do espaço (sendo sempre o resultado de extrusões) e também porque os espaços curvos não são representados em ficheiros gbXML. Assim, a aplicação do modo de elementos de construção é o indicado, sendo que este segmenta a forma curva complexa em troços, de acordo com a resolução escolhida, podendo o espaço resultante apresentar lacunas no limite do espaço. Segundo a informação facultada pelo *software*, são esperadas pequenas lacunas entre os elementos do modelo analítico de energia, não tendo um impacto negativo na análise; contudo, se essas lacunas forem grandes ou se secções do edifício não forem totalmente capturadas, é necessário aumentar as definições de resolução do espaço analítico e a resolução da superfície analítica. As definições de resolução de 203.2 e 101.6 mm são normalmente eficazes para a maioria dos modelos arquitetónicos detalhados.

Neste momento a criação do modelo energético para o caso complexo do Palácio de Monserrate encontra-se numa fase preliminar, sendo necessária ainda a exploração detalhada das ferramentas disponíveis.

5. Conclusões

No presente artigo, foi estudada a interoperabilidade entre BIM e BEM, com apoio no formato gbXML para transferência de informação. Foi utilizado o *software* de modelação BIM *Autodesk Revit 2024*, que permite a exportação de dados em formato gbXML, compatível com a interface gráfica BEM *OpenStudio Application*, versão 1.6.0, que efetua as simulações energéticas através de *EnergyPlus*, versão 23.1.0.

Numa primeira abordagem, foi aplicado o caso base de teste do BESTEST (caso 600), com o objetivo de determinar limites de interoperabilidade através da aplicação de um modelo pré-estabelecido de simulação energética. Este processo permitiu concluir que esta metodologia, na presente versão do *software*, é vantajosa para a transferência de informação geométrica e de informação simples de materiais; porém, alguns dados de simulação energética, como a localização do edifício, as cargas térmicas associadas ao espaço e a informação referente ao AVAC, que podem ser inseridos em ambiente BIM, não são registados no ficheiro gbXML resultante. Assim, é importante identificar que informação mais detalhada será necessário adicionar posteriormente no *software* BEM. É igualmente relevante mencionar que a nomenclatura dos elementos em ambiente BIM é perdida na exportação e substituída por nomes de código aparentemente aleatórios, que dificulta a sua identificação. Em relação aos resultados, é de notar que presentemente o ficheiro gbXML não transporta os resultados calculados em BEM para BIM.

Com a aplicação de estudo preliminar ao caso do Palácio de Monserrate, foi possível constatar que, em termos de geometria, o gbXML só aceita formas retangulares, o que é suficiente para a simulação de edifícios mais comuns com geometria regular, mas não no caso presente com zonas com geometria curva, sendo, portanto, necessária a segmentação do espaço fazendo uso de ferramentas disponíveis no *software* BIM. Também é de notar que, para casos complexos como o Palácio Monserrate, a utilização das opções de visibilidade dos elementos (para restringir os elementos considerados no modelo energético) em conjunto com as especificações de resolução, são uma mais-valia para a criação do modelo energético, sendo essencial a análise caso a caso para a sua implementação de forma adequada.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia (Ministério da Ciência e Tecnologia da República de Portugal) através de bolsa de doutoramento [bolsa número 2020.09705.BD].

Referências

- [1] Z. Pezeshki, A. Soleimani, and A. Darabi, "Application of BEM and using BIM database for BEM: A review," *Journal of Building Engineering*, vol. 23, pp. 1-17, May 2019, doi: 10.1016/j.jobbe.2019.01.021.
- [2] M. S. Al-Homoud, "Computer-aided building energy analysis techniques," *Building and Environment*, vol. 36, no. 4, pp. 421-433, May 2001, doi: 10.1016/S0360-1323(00)00026-3.
- [3] H. Gao, C. Koch, and Y. Wu, "Building information modelling based building energy modelling: A review," *Applied Energy*, vol. 238, pp. 320-343, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.032.
- [4] E. Kamel and A. M. Memari, "Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions," *Automation in Construction*, vol. 97, pp. 164-180, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.008.
- [5] G. Bastos Porsani, K. Del Valle De Lersundi, A. Sánchez-Ostiz Gutiérrez, and C. Fernández Bandera, "Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 5, p. 2167, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11052167.
- [6] ANSI/ASHRAE, "Standard 140-2001, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs." 2001.
- [7] "Building Energy Simulation Test – Generation Simulation and Reporting (BEST-EST-GSR)." National Renewable Energy Laboratory, May 26, 2023. Accessed: Dec. 27, 2023. [Online]. Available: <https://github.com/NREL/BESTEST-GSR>

Optimisation of building energy rehabilitation processes based on BIM-BEM interoperability: Case study of prefabricated panels with 3D printing

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.23>

**Evgenii Ermolenko¹, Bruno Figueiredo²,
Manuela Almeida³, Lucas Lopes⁴, Miguel Azenha⁵**

¹ *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 0009-0003-1228-9550*

² *Universidade do Minho, Lab2PT, IN2PAST, Guimarães, Portugal, 0000-0001-8439-7065*

³ *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 0000-0003-2713-6322*

⁴ *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 0009-0007-0147-7379*

⁵ *University of Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427*

Abstract

Currently, the rehabilitation and renovation of buildings represent significant challenges in the construction sector in Portugal. These challenges are driven by the urgent need to rehabilitate the building stock, prepare it to meet carbon neutrality targets by 2050, and reduce waste and residues in the sector. Therefore, building renovation must be approached comprehensively to improve energy performance and optimise construction and energy costs. To achieve these goals, it is crucial to define a precise approach to renovation projects, including simulations that anticipate the behaviour of buildings and adopt comprehensive design solutions to tailor specific environmental conditions. In this context, there are well-established platforms and tools developed by major professional software vendors. Nevertheless, a gap was discovered in developing optimisation solutions, which enable integrated energy performance assessment of building models and allow the optimisation of facade systems for renovation within a bidirectional framework in a platform. Consequently,

the tool presented in the current work generates facade panels based on energy performance simulation and optimisation results. As a result, a set of generated panel configurations, including dimensions and material alterations, comprise the system that varies along the facades, optimising the building's total energy consumption and production cost. The workflow is detailed, including inferred analyses and suggestions for future improvements.

1. Introduction

The AEC (Architecture, Engineering and Construction) sector in Portugal faces the important transition to a market of industrialised and holistic renovation to meet the goal of the European Carbon Neutrality 2050 program of reducing carbon emissions until 2050 to limit global warming to 1.5°C. In Europe, buildings are responsible for approximately 40% of the final energy consumption, 36% of greenhouse gas emissions, and 60% of the electricity consumption [1]. Therefore, the decarbonisation of the AEC sector is vital for accomplishing the program. In addition, the residential building stock in Portugal is represented mostly by old buildings, as shown in the investigation of A. Horta: 85% of constructed buildings in Portugal were built before 1990, before the issue of building energy performance regulations [2]. According to the energy performance certificate rating, approximately 87% of the residential buildings have a C rate or even less, resulting in poor energy performance [3]. Consequently, building renovation should be done holistically to improve energy performance and optimise construction costs. These goals require accurate design for precise interventions into existing structures as well as performing simulations to predict building behaviour and optimise it. Therefore, BIM (Building Information Modelling) and BEM (Building Energy Modelling) are essential in this process. Meanwhile, additive manufacturing techniques are being used to reduce waste materials and provide a cost-optimal renovation option for the existing building stock through using recycled plastic and natural materials, sensor integration for data provision, and parametrisation via BIM software [4]. This approach optimises the building's source usage and energy efficiency compared to traditional solutions.

Accordingly, plenty of professional software platforms exist in the AEC market. Moreover, most modern software provides API (Application Programming Interface) for developers to interact with their platforms, customising and extending their toolsets. In turn, enthusiasts and researchers worldwide aim to elaborate custom tools for BIM to BEM workflows. With the use of API, they access application methods and model properties to overcome the functional limitations of the platform and meet specific project deliverables. In this way, developers create parametric models to analyse geometrical systems for energy performance and then reconstruct the output to the BIM model or import the BIM model to BEM through custom serialising and parameter mapping and then simulate externally [5]. However, such an approach has some drawbacks, such as the lack of detailed information about the material structure and spatial and geometric metadata during optimisation, which leads to gross inaccuracy in performance estimation. This is inappropriate when rehabilitating and renovating residential stock, especially in dense urban environments. Consequently, the gap was identified in developing tools that allow fully integrated bidirectional workflow in the BIM-BEM framework to find optimal energy performance and regenerate facade configurations inside the BIM platform with all linked metadata on the fly.

Therefore, this work, conducted within a common framework of the ZeroSkin+ research project, is dedicated to developing such a tool to generate facade panels based on optimising building energy performance and additive manufacturing

requirements within the project. 3D printed panel design was elaborated in a related research case study for a traditional Portuguese residential building [6]. Consequently, the tool developed in this work is also attached to the mentioned case study. The panel is designed to imply that it will be adapted with defined variables for every part of the building depending on the overall energy performance impact. These panel configurations are based on input BIM model data and are parametrically linked with BEM simulation results.

Multicriteria optimisation is essential to this development when an adaptive facade system seeks to improve building energy performance. To achieve an optimal solution, it is necessary to adapt precise panel configurations for each part of the building. The panel configuration is presented by parameters such as dimensions, thickness, and panel materials. These criteria vary along facades to attain the lowest overall energy consumption. Meanwhile, construction cost is supposed to be minimised and the number of panel types consequently. These aspects, in general, indicate the complex computational task. The developed tool must interactively exchange data with the BIM model to accomplish this task, acquiring the necessary building information for energy performance simulation and generating model components. The primary objective of this investigation is to demonstrate and validate a methodology for bidirectional BIM-BEM model integration. However, it is important to note that the research does not assert the reliability of energy performance results and thermal measures within the scope of the presented work. Instead, the focus lies on the interoperability process, connecting the BIM modelling platform with the energy simulation engine to create adaptive facade panels optimised for enhancing the building's energy performance.

2. Methodology

A methodology implemented in the current work is based on the main goal to generate a facade panel system within the interactive workflow, transforming the existing BIM model of the building for comprehensive energy analysis and finding optimal facade solutions. Meanwhile, the workflow keeps users inside the BIM platform disembarassing from tedious data exchange.

According to the defined optimisation task, the workflow has a recursive structure. It consists of inputs, procedural definition, and outputs within a script loop in the flow-chart presented in Figure 1, marked by red, blue, and green filling accordingly. The loop that the tool passes during optimisation contains an input panel configuration and output energy performance value that enables the evaluation of specific system configurations and adaptation throughout loop iterations.

A procedural definition of the tool is written in Grasshopper VPL (Visual Programming Language) and Rhinoceros environment connected to the BIM authoring platform Autodesk Revit through the "Rhino.Inside" plugin, while some dedicated modules use Python language for communication involving GUI (Graphical User Interface) and API. The configuration input includes the dimensions and material structure of the

facade panel system, and it is controlled by a “genome” set of values that automatically alter through the optimisation solver. Another input is determined by the user through UI (User Interface) and requires a panel component file, panel dimension constraints, and a weather data file. UI is designed with the Remote Control Panel tool connecting the script definition with the host modelling application for input values control. Meanwhile, one more input source is analysed directly from the BIM platform, which provides all the necessary data about the initial BIM model for energy performance simulation through API. This data includes construction elements, spaces, used materials and their thermal characteristics, as well as the location of the building. All inputs are presented in red in the flowchart in Figure 1.

Further, the inputs are transformed into procedural definition, and computations are performed to convert the BIM model into an energy model. Then, the energy model proceeds to simulation with the EnergyPlus engine, called from the script definition. The simulation uses the “Ladybug Tools core SDK”, an open-source library from the default package installer. The “core SDK” can be executed in IronPython, enabling the integration of the tool to interact with the Revit API effectively. The optimisation part is developed with the Galapagos solver at the end of the loop. The simulation output value is concatenated with the total count of panel types to be evaluated by the optimisation solver and to close the loop by altering another configuration setup. The transformations executed in the procedural definition are presented in blue in the flowchart in Figure 1.

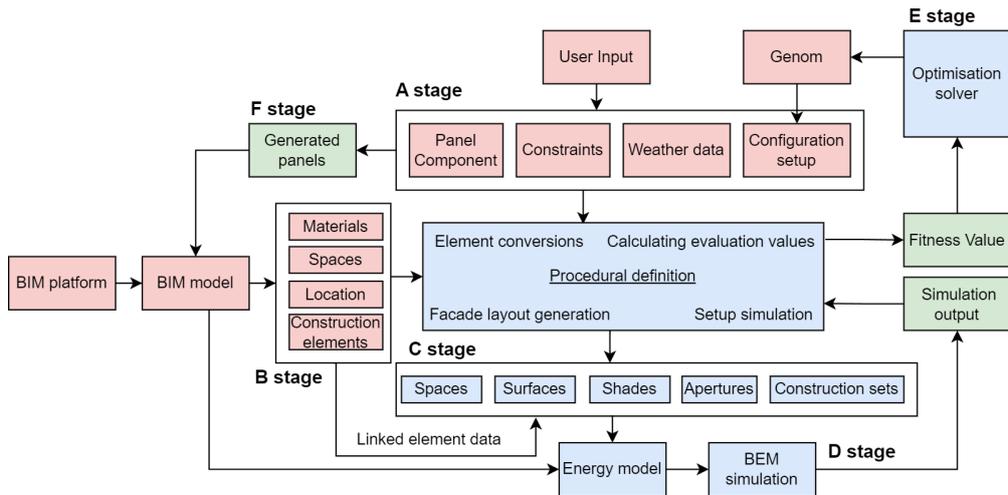
Finally, facade panels are generated based on the selected configuration as an output of the loop, and the BIM model is updated. It is worth noting that panel generation is not performed automatically for every loop iteration. It would slow down the overall optimisation process. Instead, an analytical surface representation is used by default in preview mode to evaluate the panel layout while the panel generation button is created separately. In this way, users can assess the facade panel system and compare design options effectively before the actual generation of the model. Outputs of the definition are presented in green colour in Figure 1.

As a result, the proposed workflow utilises the developed tool represented as an add-on with a user interface running directly from the BIM platform. Meanwhile, the add-on requires an initial model with default entities to be modelled (walls, floors, rooms, etc.). In the interface, the user can set up an existing BIM model for facade layout and generate panels by controlling geometric and material constraints, taking back energy performance simulation assessment results.

While generally comprising the recursive structure and having three distinctive parts in the workflow loop (inputs, procedural definition, and outputs), the algorithm is divided into six stages: A – loading panel component defining configuration variables and constraints; B – extracting BIM model data; C – generation of facade grid layout; D – conducting energy performance simulation; E – optimising panel configuration; F – generating facade panels. The next chapter explains the common scripting logic behind each algorithm stage.

Figure 1

Flowchart reflecting all stages included in the loop. Red - inputs, green - outputs, blue - internal procedural modules.



3. Development and Implementation of the tool

According to the methodology, the script is aligned with the step-by-step execution of each of the six stages of the algorithm described earlier. In the first stage, the user loads a panel component and defines constraints for the configuration search: dimensions constraints, material types, and thickness types. Dimension constraints can either be predefined in the panel component model or through minimum and maximum values defined by the user in the interface (Figure 2, left, dimensions range in Figure 3, right). A set of parameters represents a material type in Figure 3, left. These input material parameters include name, thickness, thermal conductivity, density, and specific heat. In this case study, predefined materials in the imported panel model are used, and the solver algorithm picks the best fit by cycling through the types. Nevertheless, it is possible to embed the code block into the program to create new materials based on user input parameter set values. A predefined number presents each thickness type. The acquired data is combined into lists of materials and thicknesses, which are then merged into a configuration matrix with three scalars: building side, material, and panel thickness (Figure 2, right). Sliders are employed to control the selection of configurations in the matrix (grey tabs in the interface - Figure 2, left). The selection of panel configurations is distinct for each facade side of the building. So, all panels within a single facade will share the same thickness type and be distinguished by UV dimensions only (UV denotes the axes of the 2D space of the local coordinate system as XYZ coordinates are taken to identify 3D space). Meanwhile, generated panel types may vary between facades to adapt to an optimised solution.

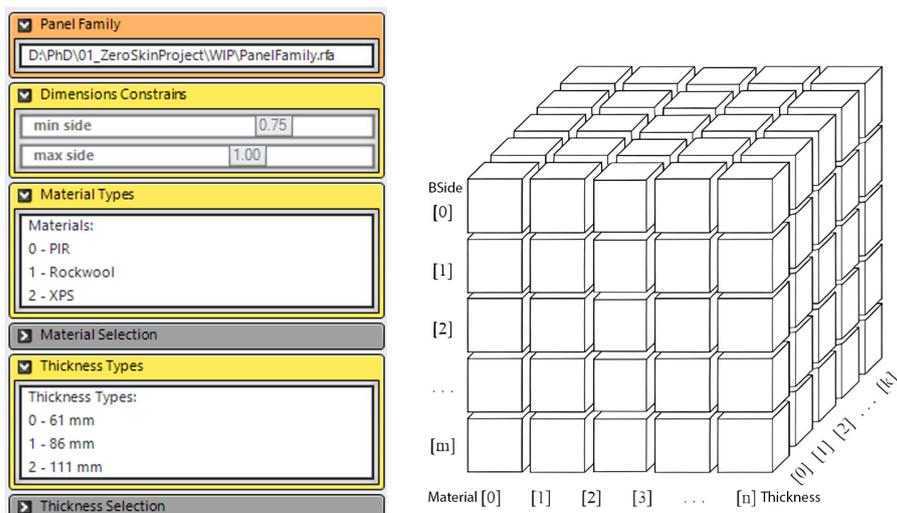


Figure 2
Interface for loading panel and constraints (left), configuration matrix (right).

C - Conductivity
 W/m^*K

D - Dencity
 Kg/m^3

SH - Specific Heat
 J/kg^*K

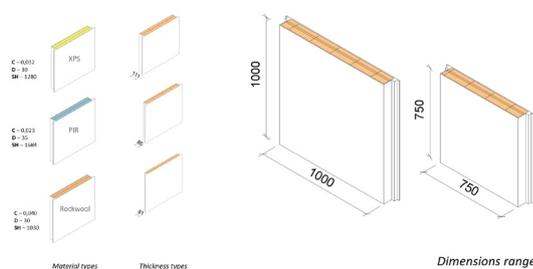


Figure 3
Material types and their characteristics (left), panel thickness types (middle), panel dimensions range (right).

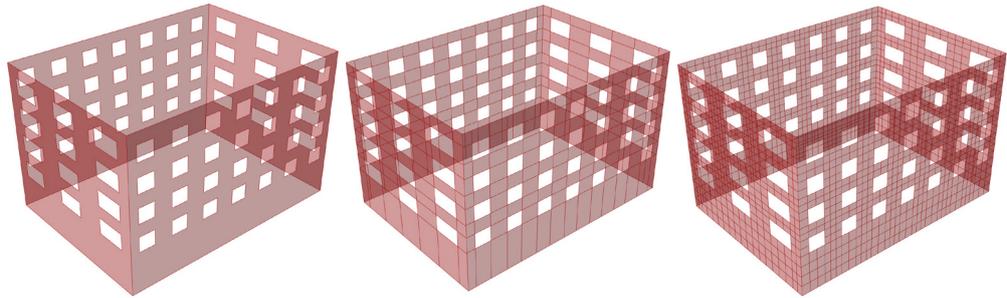
In the second stage, model components are extracted to prepare the analytical model for simulation processing. Consequently, the next object categories get extracted from the model: walls, spaces, windows, floors, and materials. Since all BIM elements will be translated to EnergyPlus classes, from a geometrical point of view, most of them will be represented as flat surfaces and potentially lose geometrical model integrity. Therefore, it is necessary to rebuild the model component's geometry to detect intersection events for further nest association between elements. For this purpose, Bounding Box geometry is inferred from all model instances using distinguished methods for each category. A common approach for this operation is to extract the basic surface of the component instance and then extrude it in the normal direction of its local coordinate system.

In the third stage, based on the extracted shell of the building, four facade sides are divided into grid layouts aligned with opening outlines. The resulting grid cells will be used to allocate generated panels. So, the geometrical centre of a cell will be the location point for each panel, with its dimensions written to panel parameters. Meanwhile, cells must be constrained by input panel maximum and minimum dimensions defined earlier in the 1st stage.

First, the building shell is deconstructed, and the four sides' surfaces are filtered by their normal direction vector. Once these side surfaces are extracted, they can be split by openings prepared in the previous stage. When each facade dimension

and UV basis of local coordinate systems are derived, the process proceeds to the grid layout (Figure 4, left). Next, control points of facade surfaces are grouped by UV coordinates and grid lines are created and defined by start point, tangent directions in the surface coordinate system, and length equal to the respective dimensions of the surface. As a result, a grid layout is formed and aligned with the facade openings (Figure 4, middle).

Figure 4
 Facades (left), Grid layout – 1st stage (middle), Grid layout – 2nd stage.



The final step involves subdividing the created grid into smaller cells, if needed, to fit panel dimension constraints. For this purpose, grid cells are shuttered into equal segments based on input numbers of divisions for UV directions. Then, segment lengths are validated for overconstraint. If the panel length exceeds the dimension range, the input number of divisions is adjusted until the segment length fits within the constraints. Ultimately, the facade grid is subdivided, matching the input constraints (Figure 4, right). The prepared grid can be transposed to the simulation part of the script definition.

EUI (End Use Intensity) value in kWh/m² and total count of panel configurations are used to assess panel configurations via building energy performance impact. Both values are supposed to be minimised to achieve better building performance. The energy model is calculated through a connected energy simulator engine to the parametric model of the building, and the results for assessment are displayed through UI in the BIM application. This part of the script utilises classes, methods, and properties from the Ladybug library and Honeybee components.

Creating an energy model based on the BIM model components extracted earlier and the input constraints defined in the first stage is necessary to perform the simulation. Besides, it is required to load an EPW weather file, which can be accessed online for specific project location. Also, some non-graphical project data is used, such as Building Name, Direction of Relative North, project base point coordinates (origin), and wall material structure. This data is acquired automatically from the model with Honeybee components.

The energy model should contain spaces, surfaces, apertures, shades, weather data, materials and construction sets to run the simulation. Previously, nesting dependencies between faces, apertures, shades, and panels were already defined as rebuilding model elements. At this stage, analytical surfaces can be added for all the space

instances with apertures and shades assigned to the host face. Materials are translated into opaque construction sets, which are further assigned to surfaces grouped by specific sides of the building. Ultimately, the energy model is created from the list of spaces and nested analytical elements. When the energy model is ready, the last step to run calculations is to set up simulation parameters and write an energy model from the Grasshopper environment in IDF format, which EnergyPlus then run.

It is worth noticing that simulation runtime became an important limitation in the workflow. The calculations during optimisation require additional data processing called externally from the EnergyPlus application. Moreover, in this workflow, the Honeybee simulation component requires internal additional translation from OSM to IDF format to run the simulation, which is not the most efficient solution in terms of runtime. Therefore, a single simulation span during the optimisation process is extended drastically in time running from the BIM application, compared to stand-alone simulation. Consequently, optimisation is a rather hardware-demanding and time-consuming process, particularly in this workflow. Alternatively, to accelerate the simulation process, the BIM model can be converted to the topological representation of the elements with the Topologic library [7]. Topological elements would lighten the processing and shorten the algorithm's definition of associations between components.

The weather file is used to gather environmental conditions for the simulation setup. It is also required to input the run period (specific time range including summer and winter picks) and check the types of calculations to run. The run period is controlled by sliders in the “Inputs” section of the script definition. Both inputs and outputs of the simulation are also available in the interface (Figure 5, left). As a result, the simulation outputs are used to evaluate facade design adjustments. They can be used both for manual configuration setup and for the optimisation solver algorithm to run automatically.

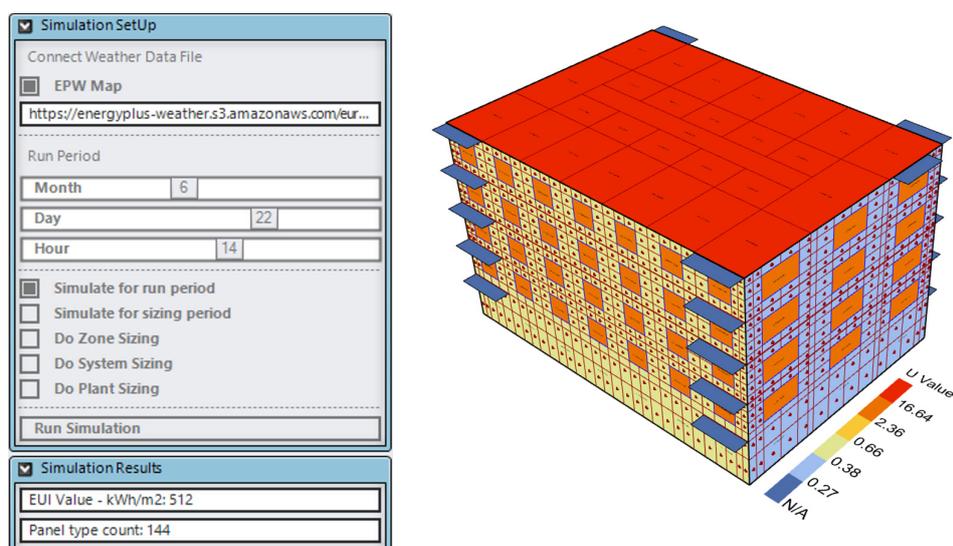
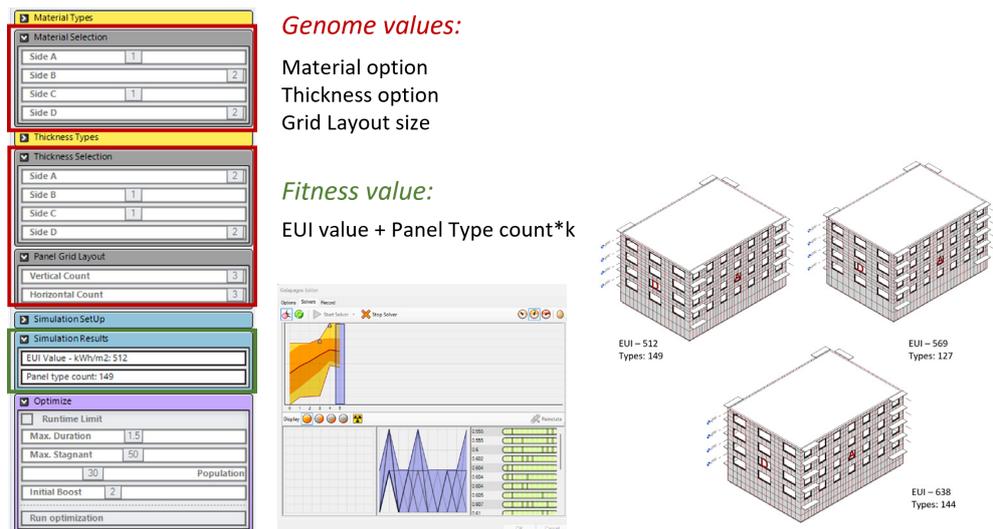


Figure 5
Simulation setup interface (left), analytical surfaces divided by panel grid with U-value in the centre of each panel (right).

Optimisation is an alternative to the manual configuration setup described earlier for automatically assessing multiple configurations and panel generation. The built-in Grasshopper evolutionary solver– Galapagos– is implemented in the proposed workflow. Galapagos is based on the evolutionary computational algorithm principle [8]. In essence, this solver populates the fitness landscape (or “model space”) from combinations of input variables (or “genes”). Each combination is a random individual (or “genome”) in the first population (or “Generation Zero”). A solver is intended to evaluate every genome’s fitness (function extremum to reach). Then, in the next generation, the best-performing genomes from Generation Zero are bred to produce offspring and narrow down the model space. Meanwhile, less successful individuals are excluded from the process. This iterative approach continues through generations until the solver achieves the best fitness value. The solver finishes optimisation work when it reaches a limited number of populations, a certain amount of generations without progress, or a defined runtime.

In the case of using an optimisation solver for panelisation, all configuration inputs serve as genome values for lookup during the optimisation process. The simulation result (EUI) and the count of panel types are used for fitness evaluation. Both values are gained to minimise, while they should have different weights to influence a solution. This condition indicates a multi-objective problem. Therefore, an “a priori” approach for optimisation using metaheuristics is applied [9]. The fitness values are multiplied by the respective coefficient and summarised as the fitness output. Once the optimisation is finished, the program interface releases the top performance results accordingly (Figure 6, middle). Finally, the user can select the most suitable panel configuration among the best-optimised genomes and display it in the preview mode in the viewport (Figure 6, right).

Figure 6
UI values for optimisation genome input (left), optimisation process (middle), facade configurations preview in viewport (right).



Once the grid and configurations are established, facade panels can be generated. The thickness type, dimensions, and material data are then written to panel components according to configuration. For this purpose, the panel location points, dimensions, and normals are extracted from the facade grid created earlier to position the panel in the model. Materials and thickness are assigned to panels based on the facade side where the panel is located and the configuration chosen for this facade. Finally, all inputs are used to populate panel instances in the BIM model. The result is shown in Figure 7.

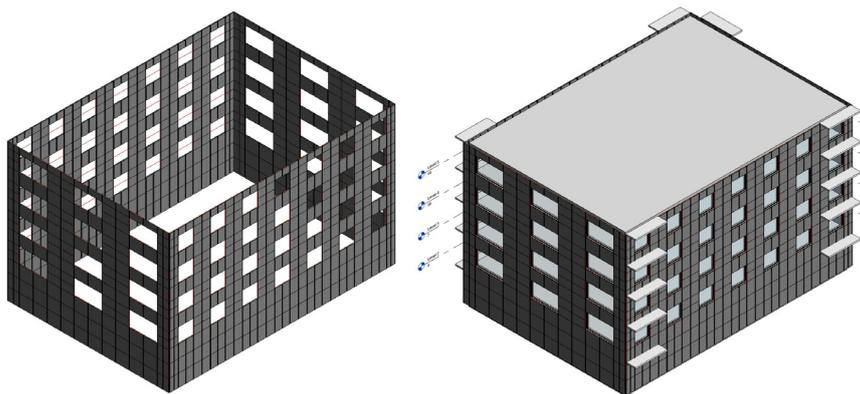


Figure 7
Generated panels (left),
generated panels on the
building (right).

4. Conclusion

The work considered in this article is a part of the ZeroSkin+ research project. This work aims to develop a tool to apply the elaborated BIM-BEM methodology to optimise building energy rehabilitation processes. The case study is the facade renovation of a residential building with prefabricated adaptive 3D printed panels, which are supposed to fit into an optimised system configuration. As a result, the developed tool allows the generation of facade panels based on energy performance simulation and optimisation results integrated within a BIM platform.

The tool encompasses the implementation of panel components elaborated in related research within the scope of the ZeroSkin+ project. Panel design implies parametric variables that can adapt to specific locations on the facade. These variables form the configuration matrix from material, dimensions, and facade side. The selection of configuration for the panel is based on simulation, and optimisation results are handled automatically through an optimisation solver. The simulation requires transforming the BIM model to an energy model and rebuilding element representation and dependencies. All transformations are executed by script, acquiring necessary data directly from the BIM model through API, while constraints and weather data are inserted from the user interface. Further, the adaptive panel system passes through an optimisation solver to optimise facade design. For this purpose, the fitness value is computed based on simulation results and the total count of panel types, while the optimisation genome is connected to the configuration matrix.

Finally, the user can select the most suitable panel configuration among the best-optimised genomes and generate these panels in the initial BIM model on the fly.

As a result of the investigation, the tool for generating prefabricated adaptive panels based on energy performance reveals the potential to customise workflows by combining existing tools to leverage advanced technological stacks seamlessly to find optimised solutions for rehabilitation processes. Meanwhile, the workflow implies direct interaction between BIM and BEM tools. Such a holistic approach allows well-informed design decisions to reach high output precision, especially important for renovation projects in dense urban areas.

5. Acknowledgements

This work was performed within the scope of the ZeroSkin+ project developed by the University of Minho, co-founded by the European Regional Development Fund (FEDER) through Norte Regional Operational Programme 2020, under reference NORTE-01-0145-FEDER-000058, also 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 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), under the Associate Laboratory Advanced Production and Intelligent Systems ARISE under reference LA/P/0112/2020, and under the Multiannual Funding of the Landscape, Heritage and Territory Laboratory (Lab2PT), Ref. UID/04509/2020.

References

- [1] E. Portugal, "LONG-TERM STRATEGY FOR CARBON NEUTRALITY OF THE PORTUGUESE ECONOMY BY 2050," ROADMAP FOR CARBON NEUTRALITY, vol. 2050, 2050.
- [2] A. Horta, J. P. Gouveia, L. Schmidt, J. C. Sousa, P. Palma, and S. Simões, "Energy poverty in Portugal: Combining vulnerability mapping with household interviews," *Energy Build*, vol. 203, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2019.109423.
- [3] J. P. Gouveia and P. Palma, "Harvesting big data from residential building energy performance certificates: Retrofitting and climate change mitigation insights at a regional scale," *Environmental Research Letters*, vol. 14, no. 9, Sep. 2019, doi: 10.1088/1748-9326/AB3781.
- [4] H. Strauß, E. P. P. AG, and U. Knaack, "Additive Manufacturing for Future Facades: The potential of 3D printed parts for the building envelope," *Journal of Facade Design and Engineering*, vol. 3, no. 3-4, pp. 225-235, Jan. 2015, doi: 10.3233/FDE-150042.

- [5] I.J. Ramaji, J. I. Messner, and E. Mostavi, "IFC-Based BIM-to-BEM Model Transformation," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 34, no. 3, May 2020, doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000880.
- [6] "ZeroSkin+ - a building renovation project using recycled plastic by University of Minho." Accessed: Nov. 29, 2023. [Online]. Available: <https://civil.uminho.pt/zeroskin/downloads.html>
- [7] R. Aish, W. Jabi, S. Lannon, N. Wardhana, and A. Chatzivasileiadi, *Topologic: tools to explore architectural topology*. 2018.
- [8] "Evolutionary Principles Applied to Problem Solving | I Eat Bugs For Breakfast." Accessed: Nov. 26, 2023. [Online]. Available: <https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2011/03/04/epatps01/>
- [9] S. Z. Mirjalili, S. Mirjalili, S. Saremi, H. Faris, and I. Aljarah, "Grasshopper optimization algorithm for multi-objective optimization problems," *Applied Intelligence*, vol. 48, no. 4, pp. 805-820, Apr. 2018, doi: 10.1007/S10489-017-1019-8.

Plataforma integrada para a circularidade dos materiais de construção: Prova de conceito no âmbito do projeto RecycleBIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.24>

**Artur Kuzminykh¹, Manuel Parente²,
Vasco Vieira³, José Granja⁴, Miguel Azenha⁵**

¹ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0003-1564-9227>*

² *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0001-5765-2622>*

³ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0001-7316-4688>*

⁴ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0002-0858-4990>*

⁵ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0003-1374-9427>*

Resumo

Embora a maior parte dos resíduos de construção e demolição seja composta por materiais com potencial de reutilização/reciclagem (por exemplo, alvenaria e betão) que poderiam contribuir para uma economia circular, o desempenho da indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) no contexto da circularidade é considerado ainda insuficiente. De acordo com a UE, a agenda da economia circular deve ser coincidente com a agenda digital. No entanto, a primeira é considerada inatingível sem o avanço das tecnologias digitais, que continuam a ser pouco utilizadas no setor. Tendo isto em conta, este artigo descreve a abordagem do projeto RecycleBIM, que pretende criar uma plataforma integrada para a circularidade dos materiais de construção com a utilização de metodologias e tecnologias associadas com BIM e a gestão da informação. O trabalho apresenta uma descrição do fluxo de trabalho proposto pelo projeto e dos desenvolvimentos que permitem a aplicação de tecnologias digitais em atividades de desconstrução. Para além disso, são descritos os pré-requisitos para a utilização do BIM bem como os principais elementos da abordagem proposta, incluindo requisitos de informação, técnicas de recolha e processamento de dados, formatos de dados abertos e o desenvolvimento de código aberto com integração de serviços Web. É também apresentado um caso de estudo com a validação do fluxo de trabalho proposto, assim como as oportunidades e trabalhos futuros nas secções finais.

Introdução

A construção é uma das indústrias com maior impacto ambiental. Para além de ser responsável pelo consumo de mais de metade de todos os recursos extraídos e minados [1], está também associada à poluição ambiental, ao esgotamento das matérias-primas e às emissões de carbono. De todos estes recursos extraídos, vários estudos indicam que até 85% acabam em resíduos [2]. De acordo com a Comissão Europeia, os resíduos de construção e demolição (RCD) representam 25-30% de todos os resíduos criados na UE. No entanto, a maioria dos RCD são resíduos inertes, o que significa que estes materiais podem ser reutilizados, contribuindo assim para uma economia circular.

Tendo em conta que mais de 90% dos edifícios e estruturas são constituídos principalmente por dois produtos de construção com potencial de circularidade inerente, i.e., alvenaria e betão, que também representam 40-80% dos RCD [2,3], o seu tratamento deve ser visto como um objetivo prioritário. Atualmente, o betão produzido a partir de agregados reciclados já não é apenas um conceito teórico: é uma prática comum em alguns países, tendo inclusivamente sido demonstrado que o produto final pode ter propriedades mecânicas comparáveis às do betão convencional [4-6]. Há, no entanto, que ter em conta que os restantes resíduos de construção representam também materiais considerados raros e/ou difíceis de extrair da natureza e que, mesmo com grandes custos de extração (durante a demolição), podem representar uma oportunidade para colocar novamente estes materiais na economia e reduzir a extração de novos materiais. Para além do mais, nos edifícios existentes verifica-se ainda um grande potencial para a reutilização de produtos, diretamente ou através de processos de restauro, desses produtos em novas construções. Esta é uma abordagem ainda muito pouco estudada e implementada na indústria uma vez que existe uma grande separação entre a indústria de demolição e as equipas de projeto/construção.

De acordo com Leising *et al.* [7] a abordagem da economia circular para a indústria Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) pode ser descrita como *“uma abordagem do ciclo de vida que otimiza o tempo de vida útil dos edifícios, integrando a fase de fim de vida no projeto e adotando uma postura em que os materiais são apenas temporariamente contidos no edifício, que funciona como um banco de materiais”*. Assim, é levantada a questão da rastreabilidade, juntamente com a questão de como seguir o conceito do berço ao berço e rastrear o material ao longo de todas as fases do ciclo de vida. Este rastreamento é ainda bastante complexo de ser materializado, mas várias iniciativas europeias, tais como os passaportes digitais dos produtos, estão a definir estratégias para que a informação de cada produto de construção seja mantida, de uma forma normalizada, ao longo de todo o ciclo de vida.

Uma forma possível de abordar esta questão é a compilação de toda a informação sobre os elementos constituintes dos edifícios numa base de dados abrangente que permita aos utilizadores e à indústria ver os edifícios como bancos de materiais, colocando-se, assim, o problema da gestão de dados em primeiro plano. Apesar da

importância da circularidade, esta acarreta enormes desafios de gestão da informação e existem ainda muito poucos trabalhos quer académicos quer de aplicação prática que abordem esta questão com detalhe que permitam a avaliação da viabilidade na indústria [8], [10].

A utilização da simulação 4D para otimizar o processo de demolição e a quantificação dos produtos e materiais para determinar o volume de agregados reciclados são dois exemplos documentados de como o BIM pode ser utilizado para apoiar as atividades de demolição [11], [13]. Foram também apresentadas sugestões para uma auditoria pré-demolição [14] para potenciar a tirada de partido das tecnologias digitais. No entanto, a ausência de bases de dados com conjuntos de dados compatíveis e de modelos BIM dos ativos existentes é citada como um obstáculo à aplicação do BIM neste âmbito [15], [17].

Neste contexto, o projeto RecycleBIM (recyclebim.eu) foi criado para estudar soluções baseadas em processos digitais suportados na metodologia BIM para a otimização dos processos de demolição e gestão da informação para permitir a economia circular dos produtos e resíduos de demolição de edifícios existentes, assim como edifícios a construir. Para além do estudo da circularidade de resíduos de demolição, este projeto pretende fornecer um *framework* para a reutilização de produtos existentes nos edifícios para aumentar a vida útil destes mesmos produtos. Os objetivos gerais do RecycleBIM podem ser agrupados em cinco pontos: (i) a utilização de técnicas de recolha dados para permitir o suporte à modelação BIM por meio de métodos semi-automáticos e minimização de custos; (ii) o fornecimento de requisitos de informação para garantir a qualidade e quantidade necessária dos dados relativos aos materiais contidos nas estruturas; (iii) a utilização de aplicações em código e com formatos de dados abertos para processar a informação e permitir a otimização do planeamento das atividades de desconstrução e demolição; (iv) a utilização estratégica e ótima de resíduos de demolição reciclados em impressão 3D de betão para a construção digital local; (v) a manutenção de registos precisos da circularidade dos materiais com contexto geográfico.

Tendo em conta que a vida útil da maioria dos edifícios e estruturas atuais varia entre os 30 e os 100 anos, pode facilmente inferir-se que o conceito da mina urbana se tornará cada vez mais premente à medida que os recursos se tornam cada vez mais limitados ao longo do tempo. Embora já existam mercados Web para esse efeito, essas soluções carecem, em última análise, de uma abordagem digital integrada e de uma interface de interação humana [19]. A combinação de BIM com tecnologias Web (tais como o *Linked Data*) torna possível a automatização do processo de recolha de dados e o desenvolvimento de um mercado. A ideia de uma plataforma de informação para a circularidade centrada em BIM já foi proposta previamente [20], embora de modo concetual apenas, incluindo com a integração do aspeto comercial procurando o equilíbrio entre a oferta e a procura de RCD [9].

Assim, as três áreas-chave atualmente em desenvolvimento no âmbito do projeto RecycleBIM e que constituem a agenda de investigação para a gestão dos RCD no

final do ciclo de vida são (i) recolha de dados eficaz e eficiente; (ii) automatização e facilidade de desenvolvimento de modelos BIM; e (iii) planeamento integrado para a gestão de RCD [3, 18]. Este artigo pretende divulgar o objetivo e alguns desenvolvimentos atuais do RecycleBIM, com destaque para o trabalho relacionado com o BIM aplicado no contexto da demolição de estruturas de betão.

Plataforma web RecycleBIM

Para processar a informação contida no modelo BIM para posterior utilização em fluxos de trabalho relacionados com as práticas da economia circular, o projeto desenvolveu uma ferramenta web, com o objetivo de promover a circularidade dos materiais de construção. Esta plataforma foi desenvolvida com o objetivo de processar a informação do levantamento efetuado do edifício a demolir que culminou num modelo BIM em IFC e convertê-la numa base de dados com a informação necessário para a colocação num *marketplace*. Um aspeto importante desta ferramenta é a sua capacidade de fornecer automaticamente dados suficientemente precisos sobre as quantidades de materiais contidos nos ativos, derivados do modelo digital. O aspeto fundamental que faz avançar o conceito de economia circular nesta aplicação reside na sua facilidade de utilização e na sua incorporação de operações com formatos de dados abertos. A aplicação é desenvolvida utilizando kits de desenvolvimento de software (SDK) e bibliotecas de acesso livre e de código aberto, criando um ambiente que favorece a aceitação tecnológica generalizada. Além disso, esta estratégia ajuda a minimizar os obstáculos económicos para as empresas se envolverem, uma vez que elimina a necessidade de adquirir software para operar com esta plataforma. Prevê-se que a plataforma possa ser alojada num domínio público da Web ou num servidor privado da empresa, estabelecendo pontos de entrada nos mercados regionais de materiais de construção. A lógica subjacente à utilização da tecnologia baseada na Web foi a de oferecer um serviço de cliente “magro” que não exige uma capacidade computacional de elevado desempenho. Esta escolha permite a utilização em dispositivos portáteis, facilitando a partilha instantânea de informações. A aplicação proposta pode ser conceitualmente categorizada como uma arquitetura de três camadas [21], em que:

- A camada de apresentação, representada pela interface gráfica de utilizador baseada na web e construída em HTML, CSS e JavaScript, assegura a visualização de um modelo digital através do funcionamento do Xeokit na camada de aplicação;
- A camada de aplicação, que representa a lógica comercial e é construída em Python e PHP, assegura a validação e a análise do modelo IFC com a biblioteca python “IfcOpenShell”;
- A camada de dados, onde os dados são armazenados e geridos numa base de dados MySQL no lado do servidor (remoto ou local).

As principais funções operacionais da ferramenta web giram em torno da validação de informações dentro do modelo BIM e da sua análise num formato tabular dentro de uma base de dados. Estes dados estruturados sobre os elementos e materiais de construção contidos podem ser posteriormente transmitidos a qualquer mercado e servem como base fundamental para o planeamento do processo de demolição. A aplicação desenvolvida fornece as seguintes funcionalidades essenciais, delineadas como um conjunto mínimo para articular o conceito de utilização de um modelo digital como uma entrada automatizada para o mercado (Figura 1):

- (i) A ferramenta incorpora um sistema de registo de utilizadores para garantir um acesso seguro aos utilizadores autorizados;
- (ii) Permite que os utilizadores carreguem um modelo BIM no esquema IFC, completo com imagens de objetos, e mostra o modelo 3D na interface gráfica do utilizador;
- (iii) A aplicação efetua verificações de validação do conjunto de dados alfanuméricos dos requisitos de informação, gerando relatórios detalhados com identificação visual dos elementos na interface;
- (iv) Realiza a análise do modelo BIM validado, gerando uma lista de objetos definidos para reutilização e materiais para reciclagem.

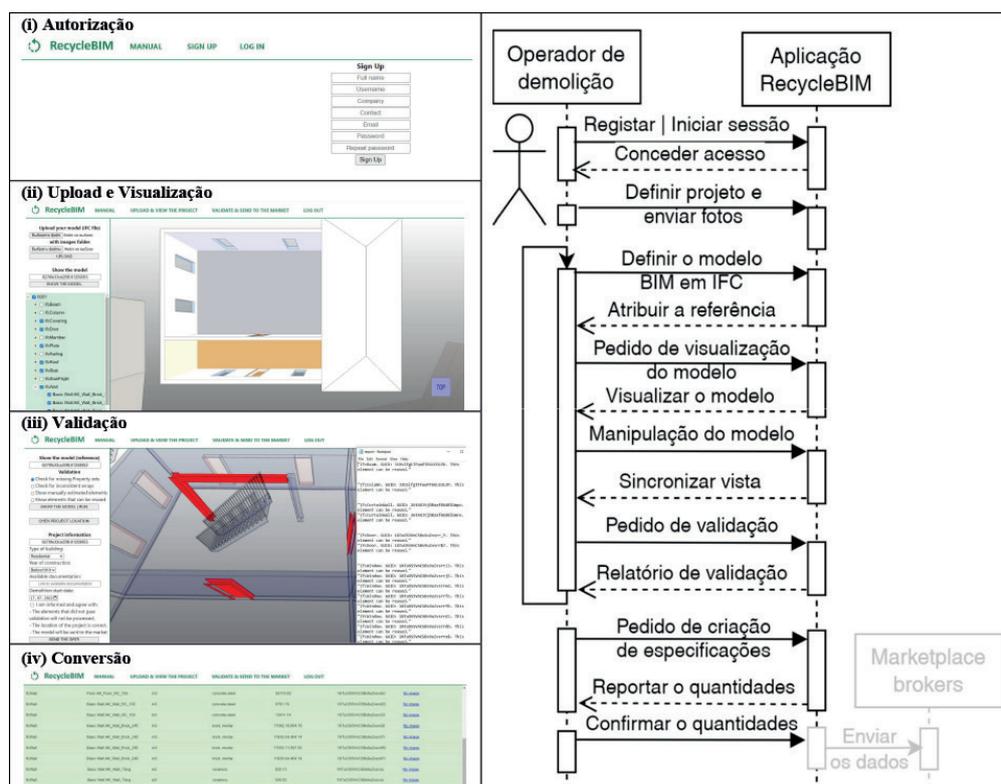


Figura 1
Funcionalidades da ferramenta web desenvolvida.

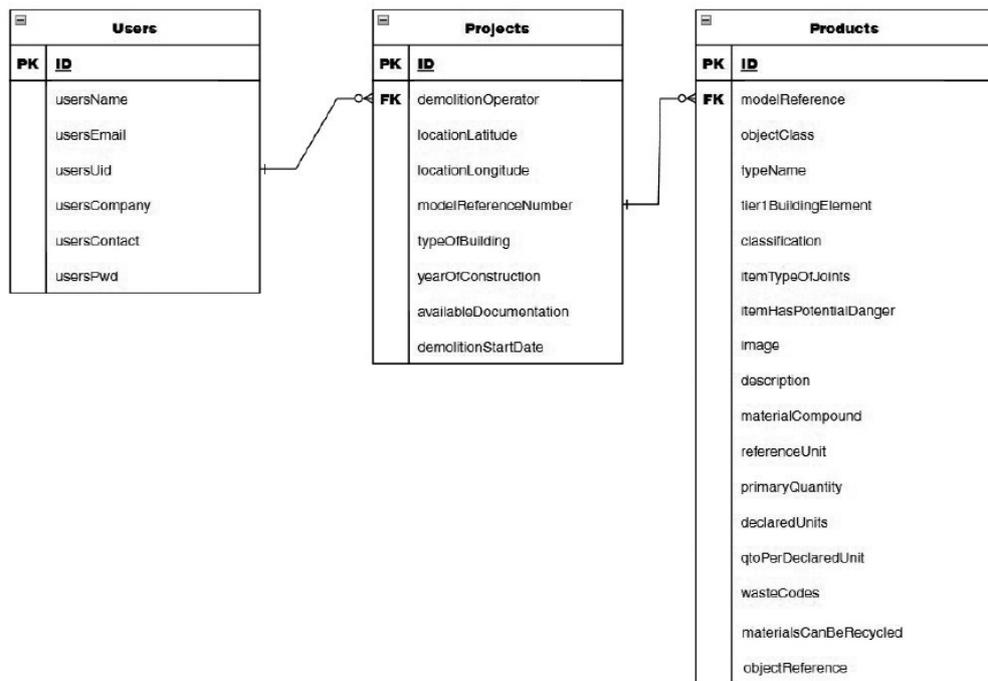
Antes de disseminar a informação sobre os ativos para o mercado, é crucial assegurar que a natureza estruturada e organizada dos dados está alinhada com os requisitos de informação estabelecidos [22]. Neste contexto, o passo inicial envolve o escrutínio e a validação dos dados da base de dados de entrada, apresentados no formato

de um modelo BIM em IFC. Estas verificações são executadas analisando o esquema IFC através da utilização da biblioteca *IfcOpenShell*. O objetivo destas verificações é verificar a presença das informações necessárias e gerar uma lista de elementos que não passaram com êxito a verificação, identificando-os especificamente pelos seus GUIDs. Estes GUIDs são então apresentados no relatório e são também utilizados para destacar visualmente itens na interface do utilizador através das ferramentas *Xeokit*.

Depois de verificados, os dados do modelo são analisados a partir do esquema IFC para uma base de dados SQL que representa a especificação do ativo. A estrutura da base de dados adotada é descrita na Figura 2: o utilizador é ligado a projetos que possuem modelos com informações sobre elementos de construção para reciclagem e reutilização. A informação sobre os materiais contida nos elementos também permite efetuar consultas sobre os materiais, dando o contexto - os elementos onde esses materiais estão contidos. Isto permite que o operador de demolição avalie a viabilidade de recuperar um material específico de um determinado elemento. É possível melhorar esta base de dados para criar relações mais complexas, adicionando tabelas relativas a contas de clientes e integrando-a com bases de dados de instalações de reciclagem locais ao escalar a ferramenta para a plataforma digital para a circularidade. Evitando a promoção de uma abordagem centralizada, a ênfase é colocada na defesa de uma abordagem aberta e na assunção da existência de numerosas aplicações semelhantes à demonstrada. Neste contexto, a estrutura de dados proposta pode ser considerada suficiente e conforme com o nível de informação necessário [22] para a criação de especificações de ativos. Estas especificações destinam-se a ser integradas em mercados, estabelecendo um quadro para o planeamento da demolição com base na procura do mercado.

Figura 2

Diagrama da base de dados da ferramenta desenvolvida.



Demonstração em caso de estudo

A metodologia proposta, desde a captura de dados até à geração automática de especificações de materiais e produtos de construção contidos num edifício, foi validada num caso de estudo correspondente a uma habitação familiar real de 2 pisos, com 400 m² de área em Portugal. O edifício contém alguma variabilidade de materiais ao longo das suas secções, em parte como resultado de uma remodelação sofrida nos anos 60, durante a qual foi construído um segundo piso em tijolo e betão, em oposição às secções originais que eram maioritariamente compostas por paredes de granito e telhados de madeira. A estrutura é considerada como um projeto típico a ser desconstruído ou renovado na área geográfica específica na qual se encontra.

Não existindo disponibilidade de modelo BIM da estrutura, as etapas iniciais incluíram o levantamento, com laser scanner portátil para obtenção dos dados geométricos, acompanhado de uma inspeção ao edifício para recolha de informações não geométricas, nomeadamente relativas aos materiais existentes em cada elemento da estrutura e o seu estado. A duração do levantamento foi de cerca de 1 hora, a partir do qual resultou uma nuvem de pontos abrangente suficiente para permitir a modelação BIM (Figura 3a). As informações geradas pela inspeção *in-situ* permitiram o enriquecimento do modelo com dados alfanuméricos e documentação associada, seguindo o nível estabelecido de informações necessárias. É relevante notar que a caracterização dos materiais efetuada durante a etapa da inspeção incluiu informações relativas à desconstrução parcial e às intervenções locais para prevenir potenciais perigos durante a desconstrução (e.g., substâncias perigosas, juntas enfraquecidas). Este processo de enriquecimento do modelo BIM com dados não-geométricos demorou cerca de 16-20 horas, o que, juntamente com a atividade de levantamento, resulta num total de 3-5 dias de trabalho para obtenção do modelo final (Figura 3b). Independentemente do software adotado, que pode ser gratuito (e.g., *Blender* com o *add-on* BIM e a biblioteca *IfcOpenShell* incorporada), todos os requisitos de informação foram verificados com vista à criação do ficheiro IFC, que foi posteriormente validado na plataforma baseada na Web desenvolvida (Figura 3c).

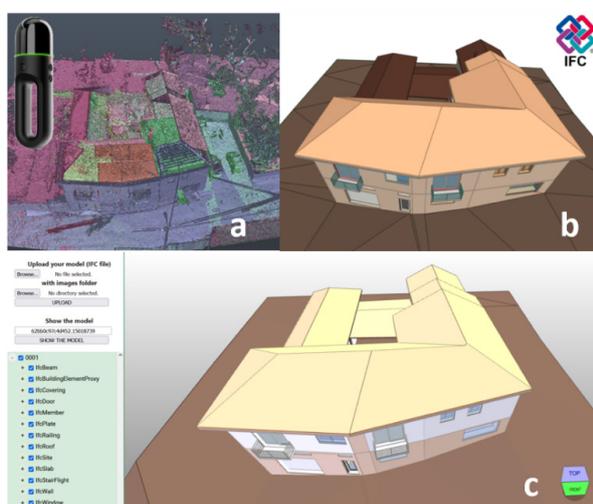


Figura 3
(a) dados *point cloud*; (b) modelo BIM em formato IFC; e (c) representação do modelo na plataforma [21].

O processo de validação apoia-se em scripts integrados na plataforma Web que analisa a informação presente nos contentores de informação e avalia a qualidade do modelo [21]. Após a validação, o modelo é analisado num formato de tabela SQL, permitindo que as especificações dos materiais existentes fossem automaticamente carregadas para o mercado (Figura 4). Desta forma, o edifício é finalmente representado como um banco de materiais para reutilização e reciclagem de um modo automático, evitando as soluções descritivas convencionais baseadas na introdução manual de dados pelo utilizador. De acordo com os resultados gerados pela plataforma, 90% dos elementos foram considerados recicláveis ou reutilizáveis. A estrutura continha cerca de 77 m³ de betão armado e betonilha, 27 m³ de tijolo e cerca de 150 m³ de granito.

Figura 4

Edifício como um banco de materiais representado como elementos construtivos separados.



Conclusões

Este artigo descreve uma abordagem para a criação/gestão de modelos de informação e bases de dados no contexto da circularidade dos materiais de construção. O âmbito do trabalho alinha-se com o do projeto RecycleBIM, que também foi brevemente descrito no artigo. A abordagem integrada proposta baseia-se em formatos de dados abertos e incentiva a utilização de ferramentas abertas, promovendo assim a divulgação e a adoção da solução. A plataforma desenvolvida permite um fluxo de informação rastreável, defendendo a transparência e promovendo a economia circular. Deste modo, suporta um mercado livre aberto para o comércio de RCD, atuando como base para a construção de modelos de informação e estimativa de quantidades de materiais utilizando os dados recolhidos.

Atualmente, o fluxo de trabalho concebido está adaptado para representar um edifício através da combinação dos seus produtos (i.e., elementos de construção) e materiais. No entanto, o edifício pode ser avaliado de vários pontos de vista (e.g., na perspetiva de materiais que constituem produtos compostos), criando a base para análises futuras mais complexas, assim como para tarefas de otimização de processos de demolição tendo como referência indicadores económicos e ambientais. Mesmo que a implementação do fluxo de trabalho sugerido possa implicar um maior nível de esforço e de custos iniciais, especialmente nos casos em que a existência de

um modelo BIM da operação do edifício não está previamente disponível, as vantagens associadas à adoção da metodologia podem não só contribuir para um futuro mais sustentável, mas também ser financeiramente justificadas pelo comércio de RCD, que está a ser gradualmente adotado em alguns países e que se espera que se torne inevitável com a crescente escassez de recursos.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para Ciência e a Tecnologia, ao abrigo da convenção de subvenção MPP2030-FCT-2022 atribuída ao 1.º autor. 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 de Estruturas (ISISE), com a referência UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. O trabalho foi também parcialmente financiado pela ação ERA-MIN 3, que recebeu financiamento da União Europeia ao abrigo do Programa Horizonte 2020 do Acordo de Subvenção da Comissão Europeia n.º 101003575

Referências

- [1] European Commission, “A new Circular Economy Action Plan,” Report 98, Bruxelas, Bélgica, 2020.
- [2] F. Pacheco-Torgal, Y. Ding, F. Colangelo, R. Tuladhar, and A. Koutamanis, “Advances in Construction and Demolition Waste Recycling: Management, Processing and Environmental Assessment,” in *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling* (2020). doi: 10.1016/C2018-0-05197-X
- [3] D. Han, M. Kalantari, and A. Rajabifard, “Building information modeling (BIM) for construction and demolition waste management in Australia: A research agenda,” *Sustainability*, vol. 13, pp. 12983, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132312983>
- [4] N. Bui, T. Satomi, and H. Takahashi, “Mechanical properties of concrete containing 100% treated coarse recycled concrete aggregate,” *Construction and Building Materials*, vol. 163, pp. 496-507, 2018. doi: 10.1016/J.CONBUILD-MAT.2017.12.131
- [5] G.S. dos Reis, M. Quattrone, W. M. Ambrós, B.G. Cazacliu, and C.H. Sampaio, “Current applications of recycled aggregates from construction and demolition: A review,” *Materials*, vol. 14, pp. 1700, 2018. doi: 10.3390/ma14071700
- [6] Sabireen, F. Butt, A. Ahmad, K. Ullah, O. Zaid, H. Ahmed Shah, and T. Kamal, “Mechanical performance of fiber-reinforced concrete and functionally graded concrete with natural and recycled aggregates,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, pp. 102121, 2023. doi: 10.1016/J.ASEJ.2023.102121

- [7] E. Leising, J. Quist, and N. Bocken, "Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool," *Journal of Cleaner Production*, vol. 176, pp. 976-989, 2018. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2017.12.010
- [8] M. Bolpagni, R. Gavina, and D. Ribeiro, *Industry 4.0 for the Built Environment – Methodologies, Technologies and Skills*, Springer Link, 2021.
- [9] K. Kang, S. Besklubova, Y. Dai, and R.Y. Zhong, "Building demolition waste management through smart BIM: A case study in Hong Kong". *Waste Management*, vol. 143, pp. 69-83, 2022. doi: 10.1016/j.wasman.2022.02.027
- [10] B. Nikmehr, M.R. Hosseini, J. Wang, N. Chileshe, and R. Rameezdeen, "Bim-based tools for managing construction and demolition waste (CDW): A scoping review," *Sustainability*, vol. 13, p. 8427, 2021. doi: 10.3390/su13158427
- [11] X.J. Ge, P. Livesey, J. Wang, S. Huang, X. He, C. Zhang, "Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study," *Visualization in Engineering*, vol. 5, p. 13, 2017. doi: 10.1186/s40327-017-0050-5
- [12] B.C. Guerra, F. Leite, and K.M. Faust, "4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams," *Waste Management*, vol. 116, pp. 79-90, 2020. doi: 10.1016/J.WASMAN.2020.07.035
- [13] J. Won, and J.P. Cheng, "Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization," *Automation in Construction*, vol. 79, pp. 3-18, 2017. doi: 10.1016/j.autcon.2017.02.002
- [14] D. García, X. Plazaola, I. Vegas, and P. Areizaga, "BIM for pre-demolition and refurbishment inventories and waste information management," in *HISER International Confernce (2017)*, Delft, Holanda, 2017.
- [15] C. Li, Y. Zhao, B. Xiao, B. Yu, V.Y. Tam, Z. Chen, and Y. Ya, "Research trend of the application of information technologies in construction and demolition waste management," *Journal of Cleaner Production*, vol. 263, pp. 121458, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121458
- [16] S. Sobhkhiz, H. Taghaddos, M. Rezvani, A.M. Ramezaniapour, "Utilization of semantic web technologies to improve BIM-LCA applications," *Automation in Construction*, vol. 130, pp. 103842, 2021. doi: 10.1016/j.autcon.2021.103842
- [17] J. Wang, J. Wei, Z. Liu, C. Huang, and X. Du, "Life cycle assessment of building demolition waste based on building information modeling," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 178, pp. 106095, 2022. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106095

- [18] 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, 2014. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023
- [19] A. Silva, and M.M. Gil, "Industrial processes optimization in digital marketplace context: A case study in ornamental stone sector," *Results in Engineering*, vol. 7, p. 100152, 2020. doi: 10.1016/J.RINENG.2020.100152
- [20] Y. Yu, D.M. Yazan, V. Junjan, and M.E. Iacob, "Circular economy in the construction industry: A review of decision support tools based on Information & Communication Technologies," *Journal of Cleaner Production*, vol. 349, p. 131335, 2022. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.131335
- [21] A. Kuzminykh, "Integrated Planning and Recording Circularity of Construction Materials through Digital Modelling," *Tese de Mestrado*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2022.
- [22] A. Anil, "Efficient data management in a BIM-based framework for circularity of products and materials," *Tese de Mestrado*, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2023.

Nível de informação necessário para a circularidade dos materiais de construção no âmbito do projeto RecycleBIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.25>

**Artur Kuzminykh¹, Achushankar Anil²,
Vasco Vieira³, Manuel Parente²,
José Granja⁵, Miguel Azenha⁶**

¹ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0003-1564-9227>

² Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0009-0006-0910-1491>

³ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0001-7316-4688>

⁴ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0001-5765-2622>

⁵ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0002-0858-4990>

⁶ Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Department of Civil Engineering, Guimarães, <https://orcid.org/0000-0003-1374-9427>

Resumo

O projeto RecycleBIM tem como objetivo aumentar a reutilização e reciclagem de matérias-primas extraídas de edifícios a demolir, intervindo no melhoramento dos processos digitais. Isto inclui a troca de informações com os mercados RCD com base no modelo de dados BIM. A abordagem do projeto considera os edifícios como repositórios de materiais de construção, promovendo a reciclagem e a reutilização em mercados de RCD. Para além disso, o projeto introduz inovações nos requisitos de informação estabelecidos e aborda os desafios da interoperabilidade. Assim, as especificações do nível de necessidade de informação são definidas no contexto dos requisitos de troca de informação, suportando o processo de criação de modelos digitais para o planeamento da desconstrução. Por sua vez, estes apoiam-se em objetos BIM como representação digital dos produtos de construção, fornecendo dados essenciais para a tomada de decisões informadas sobre a gestão de resíduos. Este artigo descreve o procedimento seguido para a criação destas especificações, com o objetivo de estabelecer uma abordagem normalizada para a troca de informações que promova a circularidade de materiais de construção.

1. Introdução

O aumento global da população implica uma maior procura por habitação e infraestruturas, resultando no consumo significativo de recursos pelo setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), responsável por quase metade dos materiais extraídos. Este setor também gera resíduos consideráveis, incluindo emissões de carbono, contribuindo com 35% do total de resíduos da União Europeia. A prática convencional de demolir edifícios no final do seu ciclo de vida leva à produção de grandes volumes de resíduos de construção e demolição (RCD). Por esse motivo, a economia circular na construção, promovida pelo Plano de Ação para a Economia Circular da Comissão Europeia, visava aumentar a reutilização e reciclagem de RCD para 70% até 2020. Porém, a recuperação efetiva de materiais ainda é significativamente inferior, resultando na disposição de quantidades substanciais em aterros ou incineração [1].

No contexto da transição para uma economia circular, na qual a transformação digital é crucial, o BIM surge como uma ferramenta essencial para a gestão de RCD e do processo de demolição. Contudo, a adoção eficaz de tecnologias digitais requer a consideração de normas adequadas, como as ISO 19650 [2] e EN 17412-1:2020 [3], bem como formatos de dados abertos, como o IFC, para garantir a interoperabilidade dos sistemas. O BIM pode ser utilizado para rastrear todo o ciclo de vida de um edifício, desde o projeto inicial, passando pela construção, as fases de serviço e, por fim, a demolição. Neste âmbito o potencial do BIM passa também por implementar simulações de energia e estudos de custos, para assim associar aos materiais e edifícios o máximo possível de informação, permitindo a tomada de decisão informadas relativamente ao seu fim de vida.

Neste contexto, o projeto RecycleBIM tem como objetivo implementar estratégias e metodologias BIM na gestão do RCD, no planeamento dos processos de demolição e na representação digital de edifícios, considerando-os como bancos de materiais. Isto inclui o desenvolvimento de uma metodologia para *Scan-to-BIM* de edifícios a serem demolidos, juntamente com uma metodologia de baixo custo de criação de nuvens de pontos (i.e., obtenção de dados geométricos), inspeção do edifício (i.e., obtenção de dados não geométricos sobre os materiais e o seu estado) e modelação, isto resulta num modelo BIM capaz de conter informações suficientes para suportar todas as funcionalidades de análise e integração por aplicações subsequentes á demolição, tais como estimativa de quantidades de RCD, análise de ciclo de vida, otimização de estratégias de desconstrução, ligação a mercados de RCD/circularidade, e até otimização de resíduos reciclados para a impressão 3D. O projeto visa igualmente promover o desenvolvimento de ferramentas digitais para que os municípios possam emitir autorizações e licenças com base nos dados dos modelos BIM e manter registos precisos das informações relacionadas com a circularidade dos materiais [5]. Isto é possível graças ao estabelecimento de requisitos de informação para a representação digital de objetos e das correspondentes regras de modelação. Ao estruturar e normalizar os dados nos modelos, as partes interessadas podem compreender facilmente os requisitos e tomar decisões informadas. O projeto visa ainda promover o desenvolvimento de ferramentas digitais para que os municípios possam

emitir autorizações e licenças com base nos dados dos modelos BIM, mantendo registos precisos das informações relacionadas com a circularidade dos materiais [5]. Isto torna-se possível por meio do estabelecimento de requisitos de informação para a representação digital de objetos, assim como das correspondentes regras de modelação. De facto, ao estruturar e normalizar os dados nos modelos, as partes interessadas podem compreender facilmente os requisitos e tomar decisões informadas.

Assim, este artigo abrange um dos passos cruciais para atingir os objetivos propostos no RecycleBIM, que consiste no estabelecimento do nível de informação necessário para articular as necessidades de informação dos modelos BIM e de normalização das características e propriedades dos materiais. Este passo tem em vista garantir a criação de uma base de dados abrangente sobre as matérias-primas utilizadas tanto em novas construções como em edifícios destinados à demolição. Desta forma, os materiais de construção podem ser facilmente e transparentemente rastreados, contribuindo para decisões fundamentadas na gestão de matérias-primas, promovendo a melhoria do processo de reciclagem e reutilização de materiais e otimizando a gestão de RCD.

2. Nível de informação necessário

2.1. Troca de informação e marcos de entrega no âmbito da modelação

A literatura destaca vários desafios na adoção de práticas circulares, atribuindo-os em grande parte à compreensão inadequada das necessidades de informação [6]. Em qualquer processo de modelação BIM, é imperativo que o ponto de partida consista na definição dos requisitos de informação para o modelo digital do ativo. A incorporação de tecnologias digitais na transição para uma economia circular é complexa, sendo essa complexidade amplificada como resultado de dois desafios simultâneos: a sobrecarga de informação no seu intercâmbio, e a disponibilidade limitada de dados sobre circularidade [7]. Tendo estes desafios em mente, e com vista a permitir que as trocas de informação abordem a quantidade exata de informação necessária para um ou mais fins específicos, a norma ISO 19650-1 introduz o conceito de "nível de informação necessário", que define a extensão e a granularidade da informação a trocar.

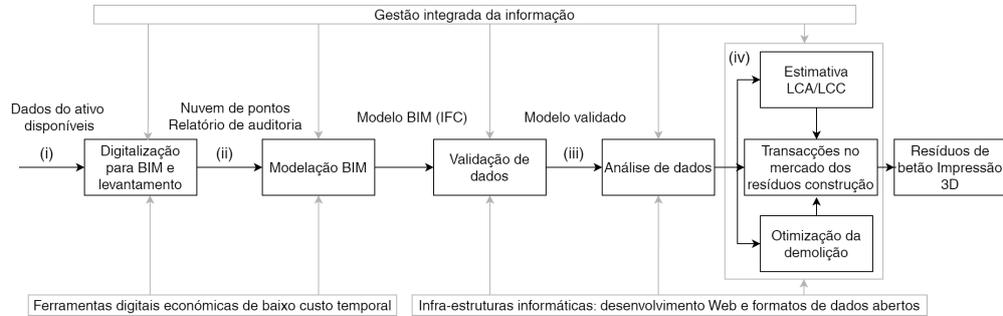
O nível de informação necessário pode ser especificado para qualquer objeto sujeito a troca de informação. Ao criar uma representação digital de um ativo, podem ser definidas as seguintes etapas principais para a troca de informações (Figura 1):

- (i) Entrega de informações fornecidas pelo proprietário ou operador do ativo a demolir;
- (ii) Entrega de dados de inspeção no local (incluindo dados de auditoria estrutural e de materiais, assim como representação em nuvem de pontos da geometria do local);

- (iii) Criação do modelo BIM para o planeamento estratégico do processo de desconstrução através da análise das quantidades de materiais nele contidas;
- (iv) Processamento de dados obtidos a partir do modelo para posterior utilização em vários fluxos (integração no mercado, otimização, análise LCA).

Figura 1

Arquitetura proposta e etapas delineadas para troca de informações.



Nas fases iniciais do estudo documental que precede a auditoria, a base de dados do ativo consiste predominantemente em informação proveniente de documentos existentes associados ao mesmo. Quando disponíveis, os dados digitais do projeto, tais como modelos BIM e/ou desenhos CAD que mostrem as relações espaciais entre os elementos do edifício, são utilizados para apoiar a definição da geometria do ativo.

A nuvem de pontos obtida a partir do *laserscan*, utilizada como base para a modelação digital do ativo através da metodologia *Scan-to-BIM*, atua como uma representação geométrica do ativo. Adicionalmente, a documentação resultante da auditoria inclui também imagens que captam elementos específicos identificados pelo auditor, melhorando assim a identificação do estado atual de um objeto. Finalmente, o relatório de auditoria fornece informação sobre os próprios elementos de construção, incluindo a sua composição e características dos materiais constituintes. Este processo cumpre as diretrizes preconizadas pela UE para auditorias [8], apoiando a modelação e enriquecimento de informação do modelo digital criado.

Uma vez que os desafios associados à implementação do BIM, especialmente no final do ciclo de vida de um ativo, estão muitas vezes relacionados com a inexistência de modelos BIM, este artigo foca-se principalmente nas especificações relativas aos objetos do modelo BIM, adotando o modelo digital como a base de dados central para todas as informações relacionadas com aspetos de circularidade. Neste contexto, um ativo pode ser conceptualizado quer como uma mina urbana, fornecendo materiais para reciclagem, quer como um conjunto de produtos de construção adequados para reutilização, alinhando com os níveis da hierarquia dos passaportes de materiais [9]. Assim, é essencial não só articular a composição da informação relativa aos produtos, mas também incluir detalhes sobre os materiais como componentes integrais dos mesmos. Consequentemente, o nível de informação necessário foi estabelecido adotando uma perspetiva que enfatiza a apresentação de informação essencial relativa tanto a materiais como a produtos.

2.2. Requisitos alfanuméricos

Uma vez que a informação é um dos pontos centrais dos modelos digitais, a componente alfanumérica do nível de informação necessário desempenha um papel crucial na formulação de requisitos para os objetos do modelo. Aqui, os modelos de dados do produto (*Product Data Templates* – PDT) são utilizados para melhorar a legibilidade automática e garantir uma representação unificada dos dados alfanuméricos. Os PDT desempenham um papel fundamental na normalização da informação estruturada e semântica ao longo de todo o ciclo de vida do ambiente construído, promovendo a rastreabilidade [10]. Uma vez que, até à data, não existem bases de dados estabelecidas de PDTs para definir um subconjunto de informações para a avaliação das propriedades de circularidade, a definição dos requisitos de informação depende dos requisitos do processo (Figura 2). Na ausência de critérios distintos para avaliar a circularidade, estas métricas foram compiladas utilizando dados recolhidos ao longo da fase de auditoria da demolição, abrangendo fatores considerados cruciais para que os gestores de resíduos tomem decisões bem informadas.

Tendo em conta a metodologia defendida no projeto RecycleBIM para a circularidade dos elementos de construção, esta pressupõe que, se um elemento de construção (ou seja, um produto) não puder ser diretamente reutilizado, pode ser alternativamente desmontado nos seus materiais constituintes para reciclagem, quando viável. Consequentemente, o conjunto de dados sugerido para estimar o potencial de reutilização e reciclagem compreende dois níveis: o nível do material (Tabela 1) e o nível do produto (Tabela 2) [11].

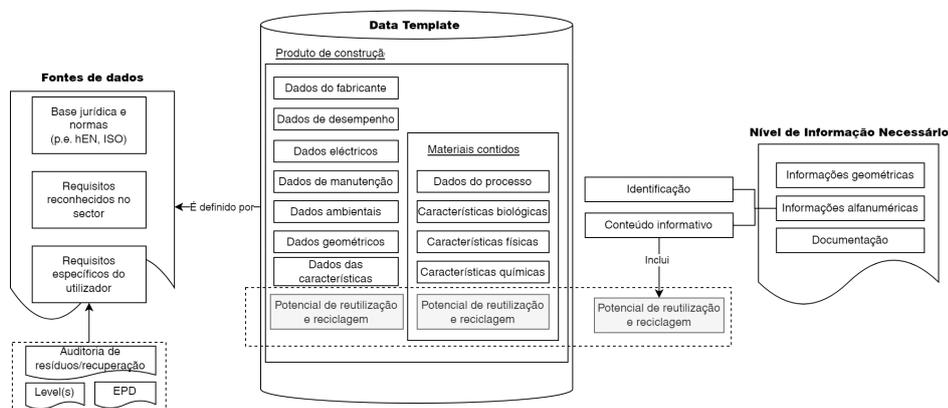


Figura 2
Relações entre o modelo digital e o nível de informação necessário.

Tabela 1 – Exemplo de conjunto de dados de circularidade de materiais

Propriedade	Material Predefinido	Betão/ revestimento	Betão Armado	Aço	Madeira	Fonte de dados
Name	✓	✓	✓	✓	✓	Level(s)
WasteCode	✓	✓	✓	✓	✓	EWC
CanBeRecycled	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção
CanBeReused	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção
TypeOfJoints	✓	v	✓	✓	✓	Inspeção
Hazardous	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção
MassDensity	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção / Referências
CompressiveStrength	-	✓/-	✓/-	-	-	Inspeção / Referências
ReinforcementVolumeRatio	-	✓/-	✓	-	-	Inspeção / Referências
StructuralGrade	-	-	-	✓/-	-	Inspeção / Referências
Species	-	-	-	-	✓/-	Inspeção

Tabela 2 – Exemplo de conjunto de dados de circularidade de produtos

Elemento	Parede	Laje	Cobertura	Viga	Pilar	Janela	Porta	Fonte de dados
Informações Alfanuméricas								
Tier1BuildingAspect	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Levels(s)
Tier2BuildingAspect	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Levels(s)
Classification	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Uniclass
ItemCanBeReused	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	✓	✓	Inspeção
ItemTypeOfJoints	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção
Image	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção
Description	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	✓	✓	Inspeção
SampleReference	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	✓/-	-	-	Inspeção
LoadBearing	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	Inspeção
Informações sobre Quantidades								
Altura	✓/-	-	-	✓/-	✓/-	✓	✓	Dados do modelo geométrico
Largura	-	-	-	✓/-	✓/-	✓	✓	Dados do modelo geométrico
Comprimento	-	-	-	✓/-	✓/-	-	-	Dados do modelo geométrico
Volume líquido	✓	✓	-	-	✓/-	-	-	Dados do modelo geométrico
Área	-	✓	✓	-	-	✓/-	✓/-	Dados do modelo geométrico
Por cada Camada de Material								
Volume Material	✓	✓	✓	✓/-	✓	-	-	Dados do modelo geométrico
Área lateral do Material	✓/-	✓/-	✓/-	-	✓/-	-	-	Dados do modelo geométrico
Peso do Material	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Inspeção / Referências / Modelo
Espessura do Material	✓	✓	✓	-	-	-	-	Dados do modelo geométrico

O conjunto de dados relativos à circularidade dos materiais contém as seguintes propriedades:

- 'WasteCode', onde a cada material é atribuído o tipo de resíduo correspondente conforme a Lista Europeia de Resíduos [12].
- 'CanBeRecycled', indica se o material pode ou não pode ser reciclado;
- 'CanBeReused', utilizado para indicar se o material pode ser reutilizado na sua forma atual sem processamento adicional;
- 'TypeOfJoints', correspondente ao nível de complexidade associado ao processo de desmontagem do material numa escala de 1 a 3, em que 1 corresponde às juntas mecânicas totalmente desmontáveis, 2 identifica o esforço suplementar necessário e 3 reflete as camadas soldadas e fundidas que requerem uma intervenção humana significativa ou maquinaria;
- 'Hazardous', identificando se o material tem de receber tratamento especial (e.g., amianto);
- 'MassDensity', referente à densidade, que permite calcular os pesos de cada material;
- 'CompressiveStrength' para identificar as propriedades do betão, estimar a qualidade do material recuperado e a sua aplicabilidade para a reciclagem e utilização como agregado;
- 'ReinforcementVolumeRatio', para estimar o peso de aço que pode ser extraído da estrutura armada;
- 'StructuralGrade', para definir as características do aço e 'Species' para identificar o tipo de madeira.

Para estimar o potencial de reutilização, o produto de construção, que representa um conjunto de materiais, é definido pelas seguintes propriedades:

- 'Tier1BuildingAspect' e 'Tier2BuildingAspect', que definem a categoria e o tipo do produto de acordo com a classificação Level(s) [13];
- 'Classification', correspondente à classificação de todos os elementos de construção de acordo com o sistema de classificação Uniclass 2015, sendo útil para uma identificação normalizada e detalhada dos produtos no mercado;
- 'ItemCanBeReused', indicando se o produto pode ser utilizado diretamente na sequência da desmontagem ou desconstrução (i.e., sem a necessidade de processamento adicional), ou se deve ser separado nos seus materiais constituintes para reciclagem;
- 'ItemTypeOfJoints', referente às possibilidades de desconstrução dos produtos;
- 'Image', utilizado para fornecer um link para um documento fotográfico do produto, que pode ser utilizado para avaliar a condição do mesmo, sendo especialmente relevante para produtos que podem ser revendidos no mercado;
- 'Description', fornecendo uma breve descrição do produto, incluindo informações relevantes que não fazem parte de outros parâmetros, tais como a condição do produto;

- 'SampleReference' e 'LoadBearing', específicos para os elementos estruturais para avaliar a possibilidade de reutilização (por exemplo, para estruturas de aço) e a sequência de desconstrução;
- Quantidades (dimensions, area, volumes, weights) por produto e por material.

O conjunto de dados formulado foi utilizado para definir o conteúdo "Informação" dos requisitos alfanuméricos. O domínio "Identificação" é especificado pela estrutura de decomposição do modelo e é inerente à utilização do fluxo de trabalho BIM (a identificação pode ser ditada principalmente pela classe do objeto, pelo seu identificador único ou pela referência de classificação utilizada na parte alfanumérica).

2.3. Representação geométrica e documentação de suporte

Para especificar a informação geométrica de um objeto num modelo BIM utilizado para planejar a desconstrução, são considerados os seguintes aspetos [3]:

- Detalhe: Descreve a complexidade da geometria do objeto, desde simplificada até detalhada, em comparação com o objeto do mundo real. No caso do uso BIM proposto no contexto da desconstrução, é adotada a representação "Simplificada", desde que esta permita calcular as quantidades baseadas na geometria em conjunto com os dados alfanuméricos especificados;
- Dimensionalidade: Define o número de dimensões espaciais do objeto. Para fornecer o contexto dos elementos numa estrutura espacial e uma quantificação baseada na geometria, é adotada a dimensionalidade 3D;
- Localização: Ao ser definido o referencial e o ponto de levantamento que posiciona o modelo no sistema de coordenadas de referência, os objetos BIM são representados relativamente à base do modelo;
- Aparência: No âmbito da demolição, são solicitadas cores diferentes para diferentes camadas dentro de objetos para fácil identificação. Por outro lado, não é necessária informação relativa às texturas neste contexto;
- Comportamento paramétrico: No caso de um modelo BIM para desconstrução, a geometria é produzida para um caso de uso singular, ou seja, para calcular a quantidade de materiais recuperáveis, produtos e para o planeamento de demolição. Como não há necessidade de transferência do projeto para desenvolvimento adicional, o comportamento paramétrico e a modificação de forma para objetos não são solicitados, sendo que a "Geometria Explícita" é suficiente para a maioria dos objetos solicitados.

Os requisitos de geometria especificados permitem a quantificação automatizada e baseada na geometria dos materiais extraídos, abrangendo aproximadamente 90% dos elementos de construção, tais como paredes, lajes, estruturas, pavimentos e coberturas. Estes elementos representam os produtos, incluindo betão e alvenaria, que constituem até 80% dos RCD [14]. No contexto da modelação de produtos com composições complexas, como janelas e portas construídas com vários materiais, e.g. metal, vidro, madeira, plástico, etc., torna-se impraticável a quantificação com base na representação digital devido à complexidade envolvida. Por conseguinte,

a representação do objeto pode ser reduzida a um sólido que reflete a forma do objeto (Figura 3), especificando as quantidades de material no conjunto de dados alfanuméricos.

Para além dos requisitos alfanuméricos e geométricos dos objetos, a documentação é parte integrante da especificação. O conjunto de documentos é definido pela informação recolhida pelo auditor, que incluem fotografias do produto, resultados de testes e avaliações de qualidade, relatórios de laboratório, diagramas de camadas de materiais, entre outros documentos que possam apoiar o processo de tomada de decisão do gestor de resíduos. Para os objetos BIM, a única documentação solicitada é uma ligação para a fotografia do produto, uma panorâmica de 360º da sala/espço onde o objeto se encontra, ou um esboço, revelando os materiais e a estrutura.

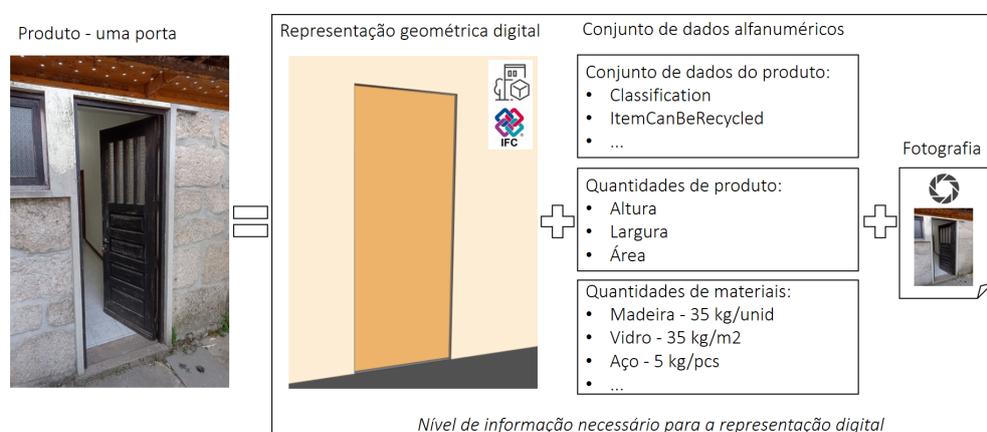


Figura 3
Representação digital do produto para a gestão do RCD.

3. IFC mapping to ensure interoperability and information circularity

Os requisitos de informação definidos para o modelo foram estabelecidos num formato de dados aberto (IFC-SPF) para garantir um fluxo de trabalho independente do software e promover a interoperabilidade, que é considerada um desafio para a aplicação de práticas circulares com fluxos de trabalho digitalizados. Uma vez que o esquema IFC pode não abranger todos os domínios alfanuméricos concebíveis e as propriedades estabelecidas no conjunto de dados de circularidade não estão semanticamente definidas no esquema IFC existente, foi definido o conjunto de propriedades personalizado "RecycleBIM" [11, 15]. O exemplo de mapeamento de propriedades do conjunto de dados é apresentado na Tabela 3. O projeto não só introduz a capacidade de definir uma configuração normalizada para contentores de informação, como também permite a análise de modelos IFC BIM e a sua validação utilizando a *Information Delivery Specification* (IDS) [16]. Aqui, foi estabelecida uma extensão personalizada do esquema IFC, permitindo representar os conceitos no domínio personalizado do *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD) [17].

Tabela 3 – Localização de cada propriedade no esquema IFC

Propriedade	Tipo de Dados	Unidade	Localização	Exemplo
Tier1BuildingAspect	IfcLabel	-	RecycleBIM_Pset	Shell
Tier2BuildingAspect	IfcLabel	-	RecycleBIM_Pset	Load Bearing Structural Frame
Classification	IfcClassification	-	IfcClassificationReference	Pr_20_85_08_15
ItemCanBeReused	IfcBoolean	-	RecycleBIM_Pset	FALSE
ItemTypeOfJoints	IfcInteger	-	RecycleBIM_Pset	3
Image	IfcText		RecycleBIM_Pset	DCIM_1707.jpg
Description	IfcText		Description (IfcRoot)	RC beam, w/o finishing
SampleReference	IfcText		RecycleBIM_Pset	Sr_07-17
LoadBearing	IfcBoolean		Pset_BeamCommon	TRUE
Quantity Information				
Length	IfcQuantityLength	m	Qto_BeamBaseQuantities	3.5
NetVolume	IfcQuantityVolume	m ³	Qto_BeamBaseQuantities	0.875
Por cada Camada de Material				
MaterialVolume	IfcQuantityVolume	m ³	IfcPhysicalComplex Quantitiy	0.875
MaterialWeight	IfcQuantityWeight	kg	IfcPhysicalComplex Quantitiy	2100

4. Conclusões

A adoção do BIM como metodologia para representar dados de ativos digitais envolve fases distintas de geração e processamento de informações. Os requisitos de informação para os marcos de entrega do modelo são estabelecidos através da definição do nível de informação necessário. Estas especificações têm um valor prático significativo para a criação de um modelo BIM, especialmente nas fases de planeamento da desconstrução de ativos. Neste caso específico de uso BIM, o nível de informação necessário é fundamental para organizar a gestão dos RCD e implementar abordagens circulares. Para garantir uma troca de informação efetiva, os requisitos de informação foram delineados num formato de dados aberto, utilizando o esquema IFC. Esta metodologia é essencial para fomentar a interoperabilidade, um aspeto crítico na promoção de práticas circulares no âmbito dos processos fragmentados do sector da construção.

A metodologia proposta oferece uma visão relevante para as partes interessadas no contexto dos conceitos de "mina urbana", capacitando os municípios para estabelecerem legislação e estruturas de licenciamento que incentivem a circularidade dos materiais. Como perspetiva futura, pretende-se desenvolver o nível de informação necessário não só para aplicação de demolições, mas também para o registo de materiais e produtos de novos edifícios, numa abordagem *design to deconstruct*.

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 de Estruturas (ISISE), com a referência UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020. O trabalho foi também parcialmente financiado pela ação ERA-MIN 3, que recebeu financiamento da União Europeia ao abrigo do Programa Horizonte 2020 do Acordo de Subvenção da Comissão Europeia n.º 101003575.

Referências

- [1] Ajayebi, A., Hopkinson, P., Zhou, K., Lam, D., Chen, H.M., Wang, Y.: Spatiotemporal model to quantify stocks of building structural products for a prospective circular economy. *Resour Conserv Recycl.* 162, (2020).
- [2] ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling – Information management using building information modelling-Part 1: Concepts and principles. (2018)
- [3] EN 17412-1: Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles. (2020)
- [4] ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema.
- [5] Parente, M., Granja, J., Vieira, V., Kuzminykh, A., González, V., Fernández, A., Díaz-Vilariño, L., Cao, D., Ukrainczyk, N., Sambataro, L., Koenders, E., Babafemi, J., De Villiers, W., Van Zijl, G., Petrik, L., Sandonis, E., Azenha, M.: RecycleBIM: a framework for the circularity of construction materials through digital modelling. In: V International Conference Progress of Recycling in the Built Environment. pp. 42-51, Weimar (2023)
- [6] Çetin, S., Gruis, V., Straub, A.: Digitalization for a circular economy in the building industry: Multiple-case study of Dutch social housing organizations. *Resources, Conservation and Recycling Advances.* 15, (2022).
- [7] Hedberg, A., Šipka, S.: Creating a digital roadmap for circular economy. (2019).
- [8] European Commission: Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings. EU Construction and Demolition Waste Management. (2018).
- [9] Luscuere, L.: Circularity information management for buildings: the example of materials passports. Presented at the January 1 (2019).

- [10] ISO 23387: Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles.
- [11] Achushankar, A.: Efficient data management in a BIM-based framework for circularity of products and materials, (2023).
- [12] European Commission: Guidance on classification of waste according to EWC-Stat categories. (2010).
- [13] Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M.: “Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction”, European Commission JRC Technical Report. (2021).
- [14] Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., Colangelo, F., Tuladhar, R., Koutamanis, A.: Advances in Construction and Demolition Waste Recycling: Management, Processing and Environmental Assessment. (2020).
- [15] Kuzminykh, A.: Integrated planning and recording circularity of construction materials through digital modelling, (2022).
- [16] Kuzminykh, A., Parente, M., Vieira, V., Granja, J., Azenha, M.: RecycleBIM Approach Towards Integrated Data Management for Circularity: Proof of Concept in a RC Building. RILEM Bookseries. 43, 252–262 (2023).
- [17] buildingSMART: buildingSMART Data Dictionary – buildingSMART International, <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>

Parte VII – Implementação e Contratação BIM

Maturidade BIM nas prefeituras do Brasil: Uma análise do cenário atual do BIM no setor público municipal

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.26>

**Talita Dal' Bosco¹, Rui M. Lima²,
Miguel Azenha³**

¹ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0001-8684-7904*

² *Universidade do Minho, Algoritmi/LASI, Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0002-7991-0132*

³ *Universidade do Minho, ISISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, ID ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

O presente estudo tem como objetivo analisar a maturidade BIM nos municípios brasileiros, com o intuito de oferecer uma visão do cenário atual dessa metodologia no setor público municipal e identificar os domínios que necessitam maior atenção e esforço para o impulsionamento do BIM nesse setor. A pesquisa destinada ao público-alvo composto pelos técnicos e gestores municipais, coletou dados por meio de um questionário online, adaptando as perguntas de acordo com o nível de conhecimento BIM dos respondentes. Para avaliar a maturidade, foi utilizada a matriz de Siebelink. O questionário foi divulgado por meio do banco de dados do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) e contou com a participação de 1.006 municípios, representando uma taxa de 18% em relação ao total de 5.570 municípios do país. Os resultados indicam que, embora 56% das prefeituras tenham profissionais com conhecimento em BIM, apenas 11% estão em processo de implementação desta metodologia, perfazendo 2% de implementação nacional. Uma análise mais aprofundada constatou que os municípios ainda estão no nível inicial de maturidade BIM. Diante desses resultados, é imperiosa a construção de políticas públicas específicas e colaborativas para acelerar a disseminação do BIM no âmbito municipal, apesar dos esforços do Brasil na formulação de estratégia de âmbito nacional.

1. Introdução

Com a percepção de que a adoção do BIM nas contratações de obras públicas resultará na racionalidade econômica dos recursos empregados, maior qualidade dos bens e serviços durante a utilização do ativo construído [1] e em elevada contribuição para toda a cadeia da construção [2], diversos países instituíram a obrigatoriedade da utilização desta metodologia em suas contratações. É notório o esforço na disseminação do BIM em países como Singapura, Reino Unido, Estados Unidos, Holanda, Noruega, Itália, Espanha, Coreia do Sul, Japão, Alemanha, França [3] e Portugal [4].

No Brasil, nota-se um avanço para a sua disseminação e implementação. Em 2017, foi instituído o comitê estratégico de implementação do BIM – CE-BIM e, em 2019, por meio do decreto n.º 9.983/2019 [5], foi definida a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – Estratégia BIM BR. Na sequência, o Decreto n.º 10.306/2020, por seu turno, estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal [6].

Mais recentemente, a nova Lei de Licitações, n.º 14.133/2021, reza, em seu art. 19, § 3.º, que “nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modelling – BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la” [7].

Em que pese toda a legislação publicada, faz-se necessária a frequente avaliação dos avanços obtidos com a implementação desta metodologia de forma que os benefícios sejam percebidos pelas organizações e os próximos passos possam ser definidos.

Neste sentido, é perceptível o valor agregado na adoção de um modelo de maturidade como ferramenta para medir o nível de desenvolvimento e implementação do BIM, bem como ser utilizado como um guia para as metas e objetivos estratégicos da organização.

Ante esta exigência de mensuração, observa-se na literatura um número crescente de ferramentas para a medição da maturidade BIM. Este aumento surge da necessidade de evolução, passando da análise da metodologia para avaliações mais amplas relacionadas a pessoas, processos de negócios, tecnologia, comunicação e troca de informações [8]. Entretanto, cada modelo de medição possui um foco específico, sendo necessária uma profunda análise sobre qual melhor se adequa ao objetivo que se pretende atingir com a medição.

Nessa perspectiva, com base nas análises realizadas pelo meio acadêmico sobre as matrizes de medição de maturidade [9], [10], infere-se que dois modelos se destacam como os mais indicados para a análise de maturidade BIM nas prefeituras brasileiras: a BIM Maturity Matrix – BIMMM [11] e a Maturidade BIM: análise setorial [12]. Esses modelos incorporam aspectos relacionados à organização, equipes, indivíduos e projetos, proporcionando uma avaliação abrangente em diferentes domínios:

tecnologia, processo, pessoas e informação. Uma vantagem dessas matrizes consiste em sua fácil interpretação de forma a facilitar uma autoavaliação, dispensando a necessidade de consultoria especializada, o que ocasiona maior amplitude na pesquisa.

Apesar de ambos modelos possuírem características em comum, uma análise detalhada revelou que a matriz de maturidade desenvolvida por Succar apresenta doze subdomínios agrupados em três domínios: Tecnologia, Processos, Política e complementada por aspectos do Estágio e Escala do BIM e, para o cálculo do nível de maturidade, utiliza a média aritmética simples entre as doze áreas. Esta estrutura torna a análise mais agrupada e pode dificultar a visão da empresa em quais domínios necessitam ser melhorados.

Por outro lado, a matriz de Siebelink apresenta maiores subdivisões, sendo dezoito subcritérios agrupados em seis critérios: Estratégia, Estrutura organizacional e de projeto, Pessoas e cultura, Processo e procedimentos, Infraestrutura de TI e Dados, e o nível de maturidade total será o menor nível obtido em um dos seis critérios. Esta forma de cálculo deixa mais transparente quais aspectos da organização precisam ser melhorados para que ela eleve seu nível de maturidade. Portanto, a matriz de maturidade BIM de Siebelink, além de contemplar os domínios necessário para a análise de maturidade de uma organização, possui fácil aplicação e pode ser adaptada para um questionário de autoavaliação.

Além disso, a pesquisa bibliográfica também demonstrou dois aspectos relevantes: i) apesar do crescente número de medições de maturidade, há uma baixa usabilidade das ferramentas disponíveis e uma escassez dos estudos que validem sua aplicação prática; e ii) a inexistência de pesquisas que apliquem os modelos de medições de maturidade nas organizações, principalmente no setor público. Posto isto, observa-se uma lacuna de pesquisa na avaliação da maturidade nas organizações públicas que contam com o apoio de ferramentas desenvolvidas para medição de maturidade BIM.

Ante o exposto, este artigo tem como objetivo analisar a maturidade BIM nos municípios brasileiros, por meio de uma autoavaliação de sua equipe técnica e gestores públicos apoiada pela Matriz de Maturidade BIM: análise setorial, de forma a oferecer uma visão abrangente do panorama do BIM no setor público municipal e identificar os domínios que demandam maior atenção e esforço para impulsionar a metodologia neste setor.

2. A construção do inquérito

A coleta das informações sobre maturidade BIM nas prefeituras brasileiras foi realizada por meio de um questionário online produzido na ferramenta Microsoft Forms. O universo das prefeituras faz parte do banco de dados do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação - FNDE, órgão da administração pública federal que financia a construção de creches e escolas para todo o Brasil. Para a divulgação do inquérito, foram encaminhados e-mails contendo o link de acesso a pesquisa para todos os técnicos e prefeitos dos 5.568 municípios brasileiros, o Distrito Federal e o

distrito de Fernando de Noronha cadastrados no FNDE. Ainda, visando obter maior engajamento, foi inserido pop-up, com direcionamento para o link do questionário, em sistema próprio da autarquia – SIMEC. A pesquisa ficou disponível para participação no período de janeiro a agosto de 2022.

Com o objetivo de proporcionar maior confiabilidade nas respostas, o questionário foi construído de forma a direcionar para questões sobre maturidade BIM somente os respondentes que possuem familiaridade com a metodologia, sendo os demais remetidos para o final. Portanto, o volume de questões alterna entre treze e quarenta e sete, a depender da maturidade do respondente e da prefeitura quanto a adoção do BIM. O inquérito foi estruturado em cinco blocos distintos contendo questões de múltipla escolha com uma ou mais opções de respostas, a depender da pergunta, e campos abertos para inserção de informações pontuais. O questionário não foi aqui reproduzido na íntegra devido a limitação de páginas do presente artigo, entretanto, descreve-se a seguir os principais aspectos de sua estrutura e o questionário completo pode ser consultado no link: <https://forms.office.com/r/QY32s8WWKj>.

O primeiro bloco objetiva, em cinco questões, coletar informações gerais da prefeitura no que tange a localidade geográfica, o número de habitantes e se os projetos são elaborados por equipe própria ou contratada. O segundo bloco, dividido em oito questões, busca conhecer o perfil do respondente e coletar dados sobre sua formação acadêmica, o vínculo empregatício com a organização e seus conhecimentos sobre BIM. Observa-se, que neste momento, existe um divisor de águas, pois caso a resposta ao questionário seja “sim” para a pergunta: “você sabe o que é o BIM?”, o sistema direcionará o respondente ao preenchimento de quatro questões específicas, a conter os aspectos relacionados com a sua experiência e uso da metodologia. Caso a resposta seja “não”, o bloco seguinte será executado.

Em sequência, o terceiro bloco contempla um conjunto de treze questões, que possuem o objetivo de retratar a implementação do BIM pela prefeitura. A primeira pergunta deste bloco: “A prefeitura utiliza a metodologia BIM?” direciona o respondente a dar seguimento ao questionário ou a ser encaminhado ao último bloco. Nesta etapa são avaliados, entre outros, o tempo de adoção do BIM, as disciplinas modeladas, quem foi o indutor pela adoção, os usos do BIM, os softwares utilizados, bem como os benefícios identificados.

O quarto bloco, contendo dezoito questões e preenchido somente pelas prefeituras que implementaram a metodologia, objetiva avaliar a maturidade BIM com o apoio da matriz desenvolvida por Siebelink. Esta matriz possui seis critérios, sendo esses: Estratégia; Estrutura organizacional; Pessoas e cultura; Processos e procedimentos; Infraestrutura de TI; e Dados. Para cada critério há um conjunto de subcritérios a serem avaliados conforme o nível de maturidade da organização para o referido subcritério, sendo estes transpostos para as dezoito perguntas do questionário que compõem o quarto bloco. Na Figura 1 os critérios e seus respectivos subcritérios são apresentados.

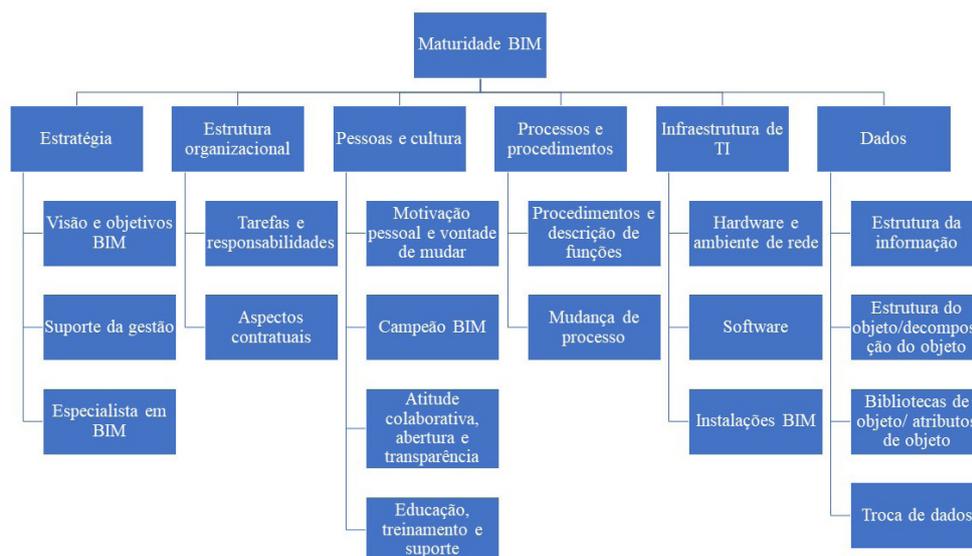


Figura 1
Critérios e subcritérios da Matriz de Maturidade BIM: análise setorial.

Para o preenchimento de cada uma das dezoito perguntas, o respondente deve avaliar meticulosamente as seis respostas possíveis e assinalar a que melhor se enquadra ao atual nível de maturidade para aquele subcritério. Cada resposta equivale a um nível de maturidade específico, a saber: 0 – ausente; 1 – inicial; 2 – gerenciado; 3 – definido; 4 – quantitativamente gerenciado; 5 – otimizado. As respostas são construídas de forma objetiva, o que leva o respondente a ter uma percepção clara do nível de maturidade a ser escolhido. Um exemplo desta parte do questionário pode ser observado na Figura 2.

Por fim, o quinto bloco trata das considerações finais contendo três questões onde os respondentes apontam os fatores limitantes na adoção do BIM, se ponderam adotar (para os que não implementaram) e um campo aberto para inserção de comentários.

Seção 4: Maturidade do BIM na prefeitura

Neste momento, iremos avaliar o grau de maturidade do BIM dentro da prefeitura e da equipe de projeto. Leia atentamente cada uma das afirmativas constantes em cada pergunta e, com base em uma autoavaliação, sinalize a afirmativa que melhor se enquadra na situação atual da implementação do BIM na prefeitura. Esta mesma estratégia deverá ser adotada para as perguntas de 27 a 44 que compõem esta Seção 4: Maturidade do BIM na prefeitura

27. Estratégia: Visão e Objetivos BIM *

- 0: Nenhuma visão ou objetivo formulado para o BIM
- 1: Uma visão básica para o BIM é definida, mas não há objetivos concretos associados a ela
- 2: Existem objetivos BIM gerais, mas uma visão BIM está faltando ou não está alinhada com a estratégia mais ampla
- 3: A visão BIM se encaixa na estratégia organizacional mais ampla e está alinhada com os parceiros
- 4: Visões SMART do BIM são definidas
- 5: A visão e os objetivos do BIM são regularmente avaliados e ajustados, se necessário

Figura 2
Exemplo do questionário aplicado.

3. Análise e discussão dos resultados

A pesquisa contou com a participação de 1.235 respostas válidas para comporem a amostra de estudo. Este montante representa a participação de 1.006 municípios do total de 5.570 correspondendo a uma taxa de 18% de participação. Na tabela 1 pode ser observado o agrupamento dos municípios participantes por regiões do Brasil.

Tabela 1: Distribuição dos municípios participantes da pesquisa.

Região	Municípios participantes	Total de municípios	%
Centro-Oeste	86	467	18%
Nordeste	299	1.794	17%
Norte	132	450	29%
Sudeste	267	1.668	16%
Sul	222	1.191	19%
Total Geral	1.006	5.570	18%

Da tabela 1 extrai-se que a taxa de participação por região do país figurou entre 16% a 19%, exceto para a região Norte que contou com 29% de participação, mesmo sendo a que possui o menor número de municípios. Da região Norte destaca-se a grande participação do estado do Pará - contando com 54 municípios participantes do total de 144 e Roraima com 15 municípios, sendo que 7 participaram da pesquisa. Por outro lado, temos alguns estados do Nordeste que tiveram participação abaixo de 15%, a exemplo do estado do Piauí, que possui 224 municípios e apenas 15 responderam ao questionário, e o Rio Grande do Norte, que conta com 167 municípios e apenas 18 participaram.

Esta considerável participação dos municípios no inquérito revelou que apesar de todo o esforço na disseminação do BIM pelo governo brasileiro, a taxa de adoção ainda é muito baixa. Na Figura 3 extrai-se que das 1.006 prefeituras participantes, apenas 115 apontaram que usam a metodologia BIM, o que corresponde a 11% dos respondentes. Em 60% destas prefeituras, a equipe técnica foi a maior indutora para a sua implementação, conforme apontado na Figura 4. Ainda, nota-se que das 891 prefeituras que não o implementaram, cerca de 56% (502 prefeituras) possuem em seu quadro técnico profissionais capacitados em BIM.

Ao analisar a distribuição geográfica da adoção do BIM no Brasil, Figura 3, observa-se uma dispersão de implementação em todas as regiões do país, entretanto, a implementação não supera 4% do total de municípios nas regiões Centro-Oeste e Norte e de 2% nas demais regiões perfazendo 2% de implementação nacional.

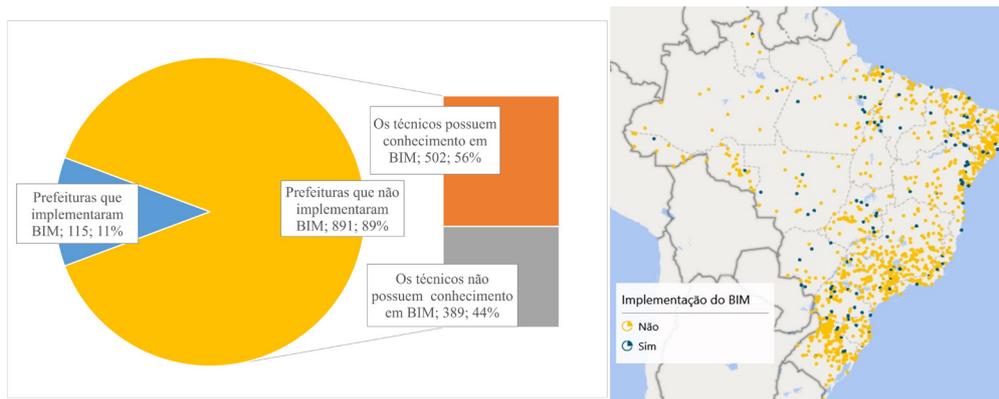


Figura 3
Prefeituras que implementaram o BIM.

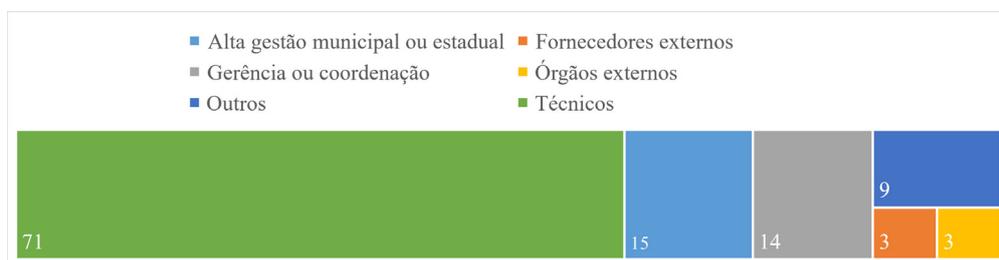


Figura 4
Indutores para a adoção do BIM.

Na Figura 5 nota-se que apesar de 80% de participação na pesquisa figurar nos municípios com menos de 50 mil habitantes, a taxa de implementação é maior nas grandes cidades. Isto fica evidente pelo fato dos maiores municípios possuírem melhores estruturas físicas, técnicas e financeiras.

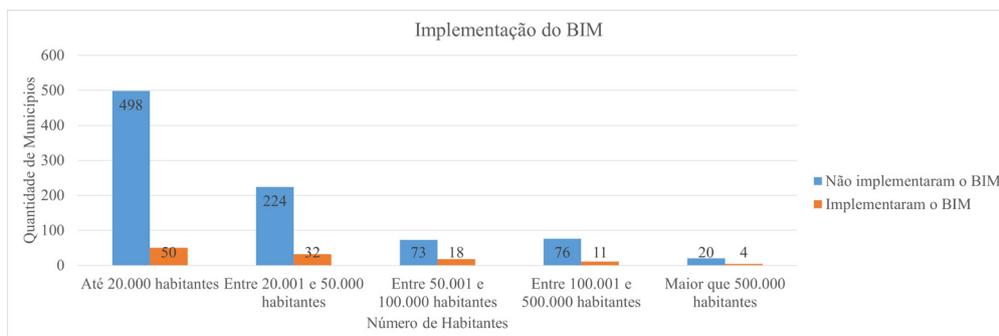
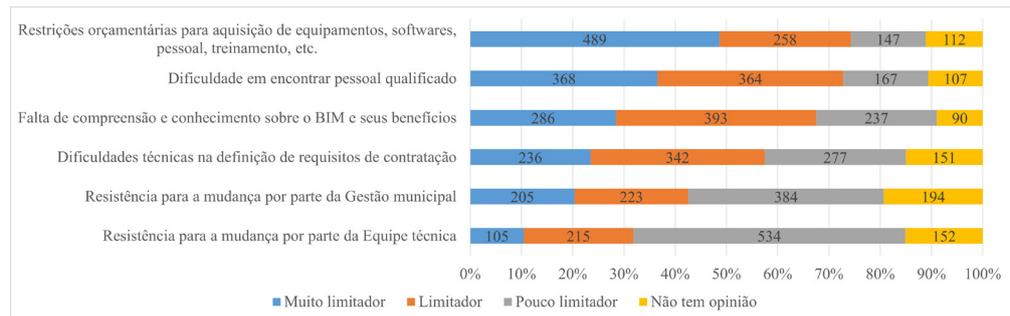


Figura 5
Prefeituras respondentes x Número de habitantes.

A Figura 6 corrobora com esta ideia quando se observa que as maiores dificuldades apontadas pelos respondentes perfazem as restrições orçamentárias, dificuldade de encontrar pessoal qualificado e baixo conhecimento da equipe técnica sobre BIM e seus benefícios.

Figura 6
Limitadores na adoção do BIM.



Portanto, a capacitação da equipe técnica continua a ser um fator relevante para a indução do BIM, mas, para além disto, deverá existir um estímulo maior para a sua completa adoção. Neste sentido, outras ações indutivas por parte dos órgãos governamentais serão necessárias, além da exigência do uso desta metodologia nas contratações públicas.

No que tange à maturidade dos municípios, cada subcritério foi avaliado pelo respondente considerando o melhor enquadramento entre os seis níveis de maturidade, previamente explicados, de acordo com o cenário atual. A Figura 7 apresenta a maturidade dos municípios organizada por número de habitantes onde, para o cálculo, cada critério foi avaliado conforme a média de seus subcritérios. Já a maturidade geral dos 1.006 municípios é mensurada pelo menor nível em seus seis critérios.

Figura 7
Maturidade BIM nas prefeituras brasileiras.

	Até 20.000 habitantes	Entre 20.001 e 50.000 habitantes	Entre 50.001 e 100.000 habitantes	Entre 100.001 e 500.000 habitantes	Maiores que 500.000 habitantes	Maturidade Geral
Estratégia: Total	1	2	2	2	1	1
Visão e Objetivos BIM	2	2	2	2	2	2
Suporte da Gestão	1	2	2	2	1	2
Especialista em BIM	1	1	1	1	1	1
Estrutura organizacional e de projetos: Total	1	1	1	1	2	1
Tarefas e Responsabilidades	1	2	2	2	1	1
Aspectos Contratuais	1	1	1	1	2	1
Pessoas e cultura: Total	1	2	2	2	2	1
Motivação pessoal e vontade de mudar	2	3	3	2	3	2
Campeão BIM	0	1	1	1	2	1
Atitude colaborativa, abertura e transparência	1	1	2	2	1	1
Educação, treinamento e suporte	1	2	2	2	2	1
Processos e procedimentos: Total	1	1	1	1	1	1
Procedimentos e descrição de funções	1	1	2	1	2	1
Mudança de processo	1	1	1	1	1	1
Infraestrutura de TI: Total	1	1	2	2	3	1
Hardware e ambiente de rede	1	2	2	2	2	2
Software	1	2	2	2	4	2
Instalações BIM	1	1	1	2	3	1
Dados: Total	1	1	1	1	2	1
Estrutura da informação	1	1	1	1	2	1
Estrutura do objeto/ decomposição do objeto	1	1	1	1	2	1
Bibliotecas de objeto/ atributos de objeto	1	2	2	1	2	1
Troca de dados	1	1	2	2	2	1

Elevação de Maturidade



Nota-se que no critério Estratégia, os municípios estão no nível 1 (inicial) de maturidade, entretanto, alguns grupos de municípios apresentam nível 2 (gerenciado) nos subcritérios Visão e objetivos BIM e Suporte da gestão. Isto denota que apesar do baixo nível, a organização possui uma percepção clara da importância da adoção do BIM e do apoio da alta gestão. Corroborando com esta ideia, temos no critério Pessoas e cultura o elevado nível no subcritério Motivação pessoal e vontade de mudar apresentando níveis 2 (gerenciado) e 3 (definido) de maturidade em alguns municípios. Por outro lado, nota-se a necessidade de grandes esforços na capacitação, de forma a construir campeões BIM e o espírito colaborativo, principalmente nos municípios abaixo de 20 mil habitantes que apresentaram ausência (nível 0) do subcritério Campeão BIM.

Já ao analisar os critérios Estrutura organizacional e de projetos e Dados, observa-se que os municípios estão em nível inicial de maturidade (nível 1), à exceção dos municípios com mais de 500 mil habitantes que apresentam nível 2 (gerenciado). No que tange o critério Processos e procedimentos, apesar de existirem grupos de municípios em nível 2 nos subcritérios procedimentos e descrição de funções, os municípios ainda estão no nível inicial de maturidade. Por outro lado, o critério Infraestrutura de TI ganhou destaque apresentando níveis de maturidade 3 (definido) para os municípios com mais de 500 mil habitantes e maturidade inicial e gerenciado para os demais, sendo significativa a maturidade no subcritério Software, perfazendo nível 4 (quantitativamente gerenciado) nas grandes cidades.

4. Conclusões

Ao analisar a maturidade BIM nas prefeituras brasileiras nota-se que estão num nível inicial de maturidade (nível 1), destacando que apesar de existir grande motivação pessoal e vontade de mudar e visão e objetivos BIM estabelecidos, esforços contínuos precisam ser desempenhados na capacitação para a formação de especialistas BIM, melhores definições de Processos e procedimentos e na Estrutura organizacional e de projetos, além de investimentos pontuais para estruturação de Dados e Infraestrutura de TI.

Além disso, atenção maior deverá ser demandada para os municípios com até 20 mil habitantes, que representam 68% do total de municípios brasileiros, os quais apresentaram níveis mais baixos em dezasseis dos dezoito subcritérios, destacando ausência (nível 0) no subcritério Campeão BIM. Por outro lado, esforços pontuais são necessários para os municípios com mais de 500 mil habitantes que apresentaram nível 1 (inicial) em apenas 5 subcritérios. Para esse grupo, a construção de mecanismos de conscientização no setor estratégico da organização contribuirá para elevar a maturidade nos subcritérios Suporte da gestão e Especialista em BIM o que ocasionará um efeito positivo nos demais subcritérios.

Em relação aos municípios situados entre os dois extremos, nota-se uma semelhança nos níveis de maturidade entre os subcritérios. Portanto, medidas indutoras do BIM destinadas aos municípios menores refletirão neste conjunto.

Reforçando as medidas pontuais, diversos autores já constataram que o avanço da implementação do BIM em um país está fortemente ligado ao apoio dado pelo órgão governamental, seja na construção de diretrizes e padronizações ou na exigência da empregabilidade do BIM em obras públicas. Fica evidente que apesar de todo o aparato legal instituído, a taxa de adoção ainda é baixa. Por outro lado, a nova Lei de Licitações, publicada em 2021, entrou em vigor somente em dezembro de 2023, sendo recente sua obrigatoriedade.

Portanto, acredita-se que este estímulo impulsione a adoção. Porém, num país com dimensões continentais como o Brasil, medidas pontuais precisam ser estabelecidas para a completa adoção, pode-se citar: i) Apoio governamental na aquisição de softwares em grande escala – Atas de Registro de Preços Nacional, ii) Promoção de capacitações para os municípios por meio de parcerias com as instituições federais de ensino; e iii) Publicação de material técnico para modelos de instrumentos de contratação de projetos e obras. Como encaminhamentos futuros, sugere-se a aplicação contínua deste questionário de forma a monitorar da disseminação do BIM para a construção de ações pontuais indutoras.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da unidade I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia de Estruturas (ISISE), com a referência UIDB/04029/2020, no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com referência LA/0112/2020. É ainda parcialmente financiado pela FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do Projeto plurianual de Unidades de I&D número UIDB/00319/2020.

Este trabalho foi financiado por fundos nacionais através da FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia, ao abrigo do contrato de bolsa 2022.13091.BD atribuído ao 1.º autor.

Referências

- [1] EUBIM, Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector: Strategic action for construction sector performance: driving value, innovation and growth. Co-funded by the European Union, 2016.
- [2] U. Gurevich and R. Sacks, “Longitudinal Study of BIM Adoption by Public Construction Clients,” *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 4, p. 05020008, May 2020, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000797.
- [3] A. Z. Sampaio, “Maturity of BIM implementation in the construction industry: Governmental Policies,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 69, no. 7, pp. 92-100, 2021, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I7P214.

- [4] Portugal, Portaria n.o 255/2023. Lisboa: Habitação, 2023.
- [5] Brasil, Decreto no 9.983/2019. Brasília, Brasil: Presidência da República, 2019.
- [6] Brasil, Decreto no 10.306/2020. Brasília, Brasil: Presidência da República, 2020.
- [7] Brasil, Lei no 14.133/2021. Brasília: Presidência da República, 2021.
- [8] A. Azzouz, A. Copping, and P. Shepherd, "An investigation into Building Information Modelling Assessment Methods (BIM-AMs)," Proc. of the 51st ASC Annual International Conference, 2015.
- [9] S. A. Adekunle, C. Aigbavboa, O. Ejohwomu, M. Ikuabe, and B. Ogunbayo, "A Critical Review of Maturity Model Development in the Digitisation Era," Buildings, vol. 12, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/BUILDINGS12060858.
- [10] S. Alankarage, N. Chileshe, A. Samaraweera, R. Rameezdeen, and D. J. Edwards, "Organisational BIM maturity models and their applications: a systematic literature review," Architectural Engineering and Design Management, 2022, doi: 10.1080/17452007.2022.2068496.
- [11] B. Succar, "Building Information Modelling Maturity Matrix," pp. 65-103, May 2010, doi: 10.4018/978-1-60566-928-1.CH004.
- [12] S. Siebelink, J. T. Voordijk, and A. Adriaanse, "Developing and Testing a Tool to Evaluate BIM Maturity: Sectoral Analysis in the Dutch Construction Industry," J Constr Eng Manag, vol. 144, no. 8, Aug. 2018, doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001527.

Transformação digital em um Home Center do setor de varejo brasileiro com ênfase na implantação e implementação BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.27>

Ítalo Santos¹, Melquisedeque Fragoso²,
Arnd Strauß², Kirlia Lima²

¹ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Várzea – Recife / PE, 0000-0003-4071-246X

² Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira – Recife / PE, 0009-0002-0153-9246

² Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira – Recife / PE, 0009-0000-0275-2773

² Home Center Ferreira Costa, Imbiribeira – Recife / PE, 0009-0008-0930-4648

Resumo

O setor de varejo brasileiro desempenha um papel importante para o desenvolvimento econômico do país. Nesse artigo será exposto os resultados alcançados referente ao processo de transformação digital na empresa Ferreira Costa & Cia Ltda, maior Home Center do norte nordeste brasileiro, evidenciando todo o processo de implantação e implementação do BIM junto à organização. A empresa Ferreira Costa foi fundada em 1884, construindo ao longo desses anos oito unidades de negócios distribuídas em 05 estados brasileiros (PE, SE, BA, RN, PB). Este artigo apresenta uma transição no qual o grupo vem passando nos últimos 02 anos referente a adequação das políticas e processos apoiados no uso do BIM e das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 no desenvolvimento, coordenação e execução da obra da nona unidade de negócio do grupo sendo construída no Estado da Bahia. Este projeto representou um marco importante no processo de transformação digital da organização, no qual, foi possível conceber pela primeira vez um modelo BIM federado com mais de 15 modelos autorais desenvolvidos por diferentes equipes espalhadas pelo Brasil, caracterizando um empreendimento comercial composto por uma loja e um depósito totalizando uma área de construção de 56.445,97m² coordenado em um Ambiente Comum de Dados (CDE) através de um fluxo de trabalho Open BIM utilizando o esquema de dados *Industry Foundation Classes* (IFC) com base no estabelecimento de diretrizes contidas no PIB, PEB e BIM Mandate desenvolvidos junto a uma empresa especializada de consultoria BIM. Também será apresentado neste artigo, os ganhos obtidos e a atual visão do grupo após essa experiência bem-sucedida, assim como, os desdobramentos futuros previstos.

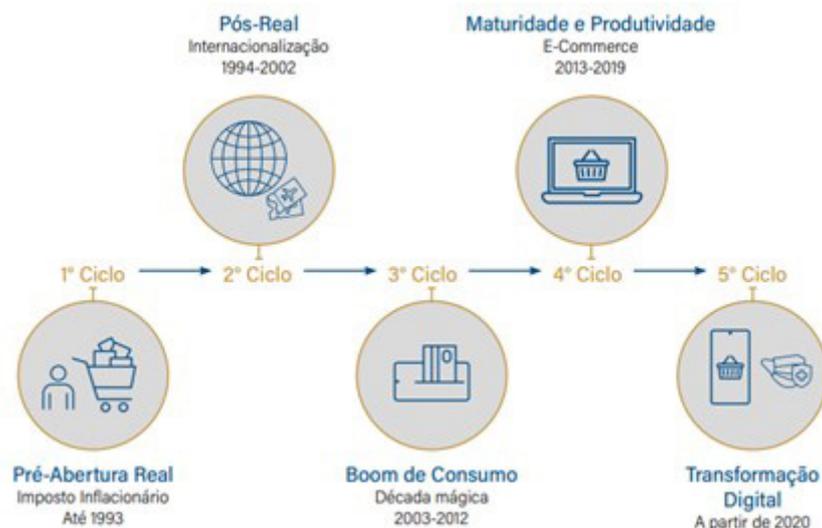
1. Introdução

1.1. BIM aplicado no setor de varejo

O setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AECO) vem passando por um processo de transformação digital nos últimos anos, que impacta diversos setores, dentre eles, o setor de varejo. Segundo [1], o projeto de arquitetura para o setor do varejo é a frente especializada em atender as necessidades do público comercial. Essa área implica em criar projetos modernos com design diferenciado para despertar o interesse do cliente e fazer com que ele se sinta parte da loja. O profissional que atua no varejo precisa saber claramente quem é o público-alvo e qual a proposta e propósito do negócio, além de levar em consideração outros fatores, como sua localização, mobiliário, circulação e iluminação suficiente.

Segundo [2] o ambiente comercial é constituído por um complexo conjunto de elementos que influenciam respostas e comportamentos, podendo causar satisfação ou insatisfação aos clientes, compreendendo o espaço em três dimensões: I) condições ambientais, II) leiaute e funcionalidade e III) sinais, símbolos e artefatos. De acordo com [3], o varejo brasileiro evoluiu em ciclos de evolução e transformação estrutural. A cada ciclo, o desempenho do setor, o ambiente econômico, as mudanças sociodemográficas e o mercado de crédito geraram a entrada de operadores internacionais, a incorporação de novas tecnologias e o desenvolvimento das relações com o mercado de investimentos. Com isso, ocorreram transformações estruturais no varejo, levando as empresas a desenvolver novas competências e amadurecer para enfrentar os desafios de cada ciclo, a Figura 1 apresenta os 05 ciclos no qual o setor passou nas últimas décadas.

Figura 1
Ciclos de evolução do varejo [3].



É possível notar que o 5.º ciclo se trata de um processo de transformação digital (meados de 2020) no qual o setor passou a se beneficiar de inovação e tecnologia aplicada com maior ênfase. Desenvolver um projeto de um Home Center envolve, além do projeto de Arquitetura, uma série de projetos de Engenharia que estão, de alguma maneira, conectadas entre si e geram complexidade ao empreendimento, o ato de projetar grandes lojas para home centers comporta para a equipe de projetistas uma série de desafios na busca de novas técnicas e novos materiais com custo mais baixo para atender a implantação do empreendimento em um mercado em constante transformação.

1.2. Breve história do Grupo Ferreira Costa

A empresa Ferreira Costa é uma organização centenária, fundada em 1884 na cidade de Garanhuns/PE, pelo imigrante português João Ferreira da Costa. No início era um pequeno armazém de ferragens e ferramentas, que evoluiu para o mercado de varejo de material de construção. Desde o início da fundação, a Ferreira Costa se mostrou pioneira no ramo varejista brasileiro, sendo a primeira empresa em adquirir, em 1974, um computador para sua contabilidade, visando aprimorar a comunicação e eficiência nas vendas, como também foi a primeira que adotou a tecnologia *Palm* [4] para equipe de vendas. A figura 2 apresenta registros fotográficos da evolução da primeira loja do grupo.



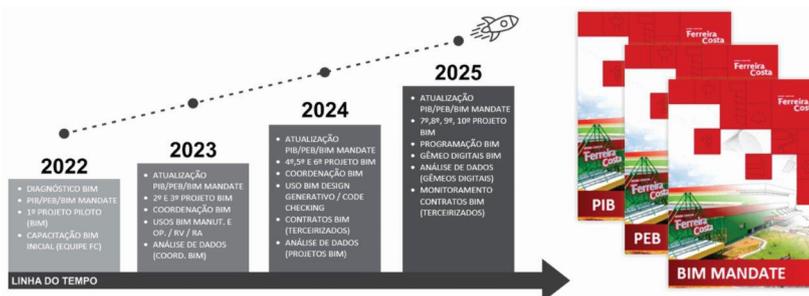
Figura 2
Registros fotográficos das primeiras lojas (Autores, 2024).

2. Metodologia proposta para Implementação BIM

O processo de implementação do BIM junto ao Grupo Ferreira Costa iniciou no ano de 2022, quando foi contratada uma empresa de consultoria especializada (IG Consultoria) visando auxiliar a organização no processo de Implantação / Implementação BIM. No primeiro ano foram estabelecidos o avanço de 06 itens estratégicos junto ao grupo, sendo eles: I) Diagnóstico BIM / Plano de Implementação BIM (PIB), II) BIM Mandate, III) Plano de Execução BIM (PEB) do 1.º projeto piloto BIM, IV) Capacitação BIM [5] e VI) Consultoria especializada BIM. O planejamento previsto foi baseado em marcos temporais conforme demonstrado na figura 3 apresentada a seguir.

É possível notar na figura 3 que foi traçado um planejamento estratégico para curto, médio e longo prazo, de maneira que o grupo possa ter em vista um horizonte temporal a ser alcançado, prevendo também a evolução da maturidade BIM da organização [6], capacitação do corpo técnico, melhorias na infraestrutura tecnológica mediante o avanço gradativo previsto. No início do processo de implementação BIM, mais especificamente no primeiro semestre de 2022, o índice de maturidade BIM da organização estava em 14,29%, após 12 meses, primeiro semestre de 2023, chegou à 48,21% (avanço de 33,92%), atingindo no segundo semestre de 2023 55% (avanço de 6,79%) sendo este o índice atual, evidenciando o aumento gradativo de maturidade BIM atrelado ao planejamento estratégico previsto.

Figura 3
Cronograma macro –
Implementação BIM
(Autores, 2024).



3. Projeto Piloto BIM (Barris/ BA)

Para desenvolvimento do primeiro projeto piloto BIM foi estabelecido junto a diretoria o desenvolvimento do projeto da nona unidade de negócio do grupo que seria construída em um terreno de 39.590,50m² localizado no Estado da Bahia, um empreendimento dotado com área total de construção de 56.445,97m² (loja / depósito) apresentando um programa de necessidades e conjunto de funções semelhante as demais lojas do grupo com 50% de taxa de ocupação do terreno existente se desenvolvendo em diferentes níveis permitindo um eficiente equacionamento dos diferentes fluxos de pessoas, mercadorias e automóveis estando dividido de acordo com os seguintes pavimentos: semienterrado (destinado ao estacionamento), térreo (destinado ao mall, estacionamento e depósito), primeiro pavimento (destinado à loja principal) e o segundo pavimento (destinado ao depósito). A figura 4 apresenta uma vista do modelo BIM federado desenvolvido e coordenado pela equipe BIM da organização.

Coordenar um projeto em BIM desse porte demandou uma série de desafios a serem superados, dentre eles, o estabelecimento de um novo fluxo de coordenação BIM (Open BIM) para que fosse viável gerenciar e coordenar o desenvolvimento em tempo real de vários modelos autorais monodisciplinares BIM criando o modelo federado em um Ambiente Comum de Dados (CDE) de padrão aberto neutro (IFC) contemplando a gestão de mais de 15 modelos autorais BIM desenvolvidos por diferentes terceirizados (mais de 07 empresas) espalhadas no Brasil sendo coordenado pela equipe BIM situada na cidade do Recife – PE.

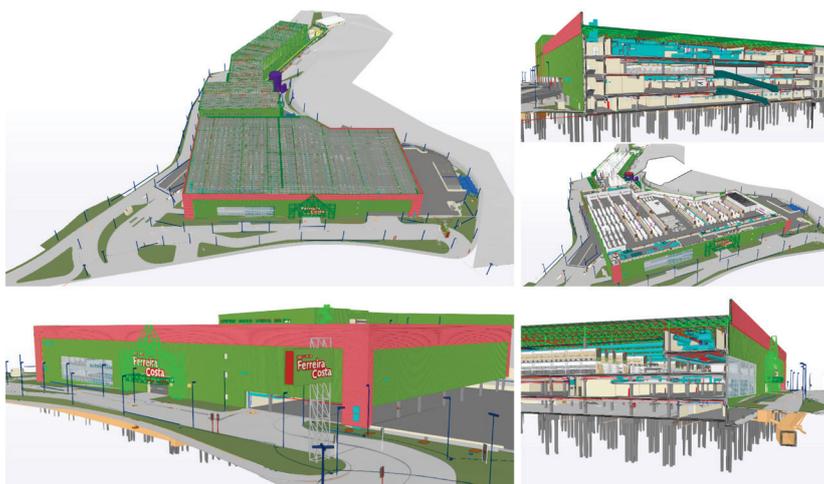


Figura 4
Modelo BIM Federado
(Autores, 2024).

3.1. Desdobramentos alcançados (Coordenação BIM / Análise de Dados)

Uma vez desenvolvido o projeto piloto, foi possível estabelecer uma estratégia associada ao acompanhamento do processo de coordenação BIM e criação de um ambiente destinado a análise e extração dos dados contidos no modelo BIM federado (filial Barris / BA) com intuito de apresentar em tempo real, dados com ênfase no orçamento, análise de interferências e custos associados à obra visando à minimização de conflitos na etapa de coordenação do projeto através de um ambiente *On-Line Analytical Processing* (OLAP) [7] multidimensional responsivo, permitindo a análise dos dados através de um painel (dashboard).

Para cada uma das frentes estratégicas de análise, foram estabelecidas questões problema e indicadores a serem mapeados. Uma vez estabelecido as frentes estratégicas e indicadores, foram criados alguns bancos de dados no software Microsoft Excel a fim de tabular todos os dados de interesse. Uma vez desenvolvido os datasets, foi possível criar um dashboard no software Power BI da Microsoft contendo gráficos dinâmicos pertinentes ao datasets. A figura 5 apresentada a seguir demonstra o painel 1 (coordenação BIM) e a sua visualização no setor corporativo da organização.

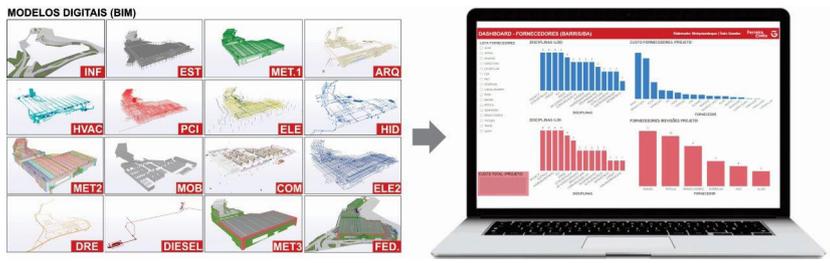
No painel 1 é possível identificar dados associados a tipos de ocorrências mapeadas por pavimento do projeto, tipo de ocorrência por categoria, natureza das ocorrências, distribuição de ocorrências por disciplinas, quantidade de interferências identificadas, percentual de oportunidades identificadas associada a redução de custo, economia financeira alcançada associada as ocorrências evitadas na fase de coordenação BIM (relacionando com o custo total dos projetos contratados) e quantidade de ocorrências por gravidade (baixa, moderada, grave e muito grave). Após o desenvolvimento do painel 1, foi possível desenvolver o painel 2, conforme apresentado na figura 6. Neste painel, o foco foi caracterizar os dados pertinentes ao nível de desenvolvimento dos modelos BIM o *Level of Development* (LOD) [8] e o nível de Informação necessária, *Level of Information* (LOI) [9] entregues pelos contratados, a

distribuição de custo de contrato por fornecedores (dados ocultados devido a questões de confidencialidade), assim como, foi possível mapear a distribuição revisões de projeto por fornecedor.

Figura 5
Dashboard de Coordenação BIM na sala corporativa do grupo (Autores, 2024).



Figura 6
Modelos BIM / Painel 02 dashboard – dados LOD / LOI (Autores, 2024).



O desenvolvimento desses painéis possibilitou a equipe de Coordenação BIM ter uma nova visão geral do processo, permitindo que as tomadas de decisões fossem realizadas a partir da análise dos dados oriundos do processo de coordenação BIM, bem como, permitiu a diretoria estabelecer as prioridades do ponto de vista de pendências e melhorias necessárias junto aos terceirizados com base na criticidade contida nos gráficos apresentados nos dashboards desenvolvidos e o nível de informações contidas nos modelos BIM (entregues pela empresas contratadas).

3.2. Processos e Usos BIM (projeto piloto – Barris / BA)

Os usuários que superaram a curva de aprendizado inicial do BIM, começam a explorar novos usos da metodologia. Segundo [10], os usos do modelo BIM identificam e agrupam os requisitos de informação que precisam ser entregues, sendo um tipo de uso da informação que também inclui: I) uso de documento, II) uso de dados, III) usos do modelo. Segundo este autor, os usos do modelo são agrupados em três categorias: usos gerais do modelo, usos de domínio e usos customizados.

Para o desenvolvimento do projeto piloto BIM foram estabelecidos 06 usos BIM [10], baseado nos códigos 3040 (modelagem autoral), 4070 (estimativa de custo), 4040 (detecção de conflitos), 4030 (simulação realidade aumentada), 4240 (simulação realidade virtual) e o uso BIM associado a Coordenação de Projeto (uso essencial) baseado em [11]. Para cada uso BIM estabelecido no projeto piloto foi desenvolvido o

seu respectivo mapa de processo, visando subsidiar as equipes ao longo do desenvolvimento dos entregáveis estabelecidos no Plano de Execução BIM (projeto piloto). A figura 7 demonstra um dos mapas de processo do uso BIM associado à Coordenação de Projeto contemplando o fluxo desde o recebimento do modelo IFC, realizando a verificação de integridade do modelo, análise de compatibilidade e interferências, extração de dados para o dashboard de coordenação BIM, até a etapa final do compartilhamento dos modelos digitais BIM nas áreas de trabalho no CDE conforme recomendação da ISO 19650-1 [12].

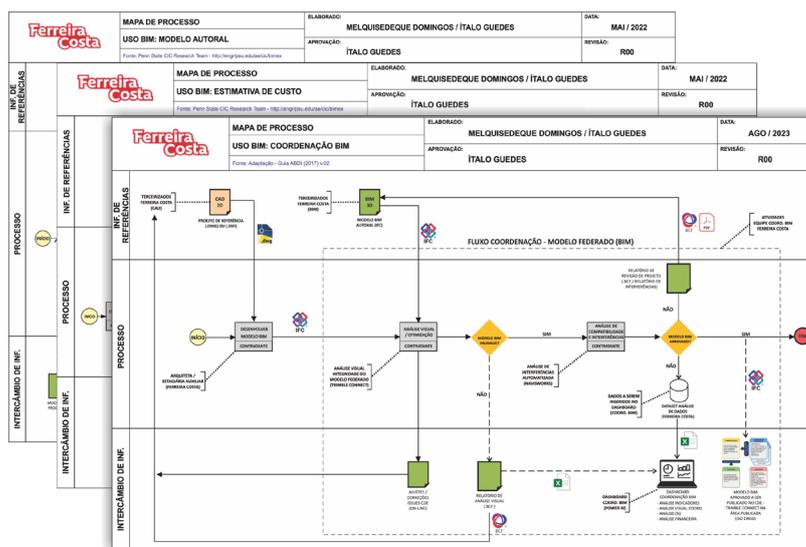


Figura 7
Mapas de processos Usos BIM (Autores, 2024).

Todos os desenvolvimentos desses BIM itens citados anteriormente permitiram que o modelo digital (BIM) e todos os documentos desenvolvidos (PIB, PEB, e BIM Mandate) fossem utilizados em plenitude pela equipe de projetistas e a equipe de obra ao longo da construção do empreendimento.

4. Resultados alcançados (obra)

Mediante o desenvolvimento dos itens expostos nas seções anteriores, foi possível identificar diversos ganhos associados ao processo de Implantação / Implementação BIM e Coordenação BIM. Para representar os ganhos, foi desenvolvido um painel 3 com intuito de caracterizar os dados pertinentes aos indicadores estabelecidos no relatório de análise de dados baseado em cinco categorias: I) velocidade / tempo (ganho em atividades automatizadas), II) agilidade (tempo de verificação e extração de informações nos projetos), III) maturidade BIM (índice de maturidade BIM) [6], IV) percentual de profissionais utilizando CDE, e V) produtividade (otimização homem/hora) alcançados no projeto piloto.

Na figura 8 apresentada abaixo é possível visualizar como a equipe conseguiu tirar proveito do modelo digital (BIM) em campo, realizando simulações entre o projeto x obra (mês a mês) utilizando realidade aumentada (RA) na escala 1:1 no canteiro de

obra, realização de reuniões de coordenação (profissionais em diferentes estados) utilizando o modelo federado BIM carregado em nuvem no CDE Trimble Connect baseado no formato de padrão aberto não proprietário *Industry Foundation Classes* (IFC) [13], assim como, a visualização do painel 3 (dashboard) com os indicadores alcançados (ganhos obtidos).

Figura 8
Usos BIM / Painel 03
dashboard – dados
indicadores (Autores,
2024).



Neste painel 3 é possível perceber as reduções alcançadas baseadas em cinco categorias relacionadas a benefícios: I) prazo (valor a ser preenchido no final da obra), II) aditivos de obra (custo economizado pertinente a interferências identificadas no processo de coordenação BIM), III) inconsistências identificadas antecipadamente pertinentes à categoria obra, IV) inconsistências identificadas antecipadamente pertinentes à categoria projetos e V) tempo reduzido na entrega da obra (pelo fato da obra no momento atual estar em fase de finalização, ainda não foi possível a equipe aferir este indicador).

Com relação a etapa de execução da obra, ficou evidente os diversos ganhos que o BIM possibilitou neste processo, permitindo que a equipe de escritório (coordenação) e a equipe de obra se antecipassem as interferências, possibilitando o aprimoramento da comunicação e colaboração multidisciplinar através de um Ambiente Comum de Dados (CDE), dentre outros diversos benefícios indiretos.

No momento atual (fev. 2024) a obra se encontra em fase de finalização e o modelo BIM está sendo preparado para explorar novos usos BIM associados às etapas pós-obra (manutenção e operação). Mesmo a obra ainda não estando 100% finalizada é perceptível o quanto o processo de Implementação do BIM junto a organização promoveu melhorias. A figura 9 exibe fotos atuais do empreendimento.



Figura 9
Fotos da obra
(Autores, 2024).

5. Conclusão e desdobramentos para trabalhos futuros

Todas essas iniciativas realizadas ao longo dos anos de 2022 / 2023 associada ao processo de implantação / implementação BIM junto à organização possibilitou que o planejamento estratégico traçado pela empresa de consultoria especializada IG Consultoria junto à organização, fosse realizado com êxito, tendo o apoio da diretoria para viabilizar a continuidade do planejamento previsto para o ano de 2024, contemplando o avanço com novas frentes de trabalho e desenvolvimento de projetos em BIM (novas unidades de negócio do grupo). Outro ponto positivo foi o fato da equipe de arquitetos (as) e engenheiros (as) do setor de projetos da organização ter conseguido apoio da diretoria no ano de 2023, para que 06 colaboradores realizassem uma especialização em BIM, tendo 50% dos custos arcados pela organização.

Esta iniciativa possibilitou que fosse criado um grupo de pesquisa e trabalho interno (equipe BIM FC) visando explorar novos usos BIM potenciais em diferentes contextos para a organização, tais como: I) uso do BIM com intuito em agilizar o processo de licenciamento das futuras unidades de negócio do grupo, II) uso do BIM com o objetivo de aprimorar o processo de coordenação BIM junto às lojas comerciais que são instaladas dentro das unidades de negócio do grupo, III) uso do BIM com ênfase no processo de design generativo aplicado para melhoria no posicionamento de leiaute de loja / estoque das unidades de negócio visando otimizar melhor os espaços concebidos, IV) uso do BIM com ênfase em manutenção e operação, dentre outros usos BIM potenciais previsto no planejamento estratégico para os próximos anos.

Com relação aos desafios enfrentados, foram elaborados anualmente relatórios de lições aprendidas, dentre elas, destacam-se os seguintes pontos: I) importância de abranger o processo de implementação BIM junto aos demais setores da organização além do setor de projetos e obras fortalecendo a cultura organizacional com o uso de novas tecnologias, II) manutenção da equipe técnica e suporte financeiro com base no planejamento previsto no PIB, III) promover maior engajamento junto aos prestadores de serviço (projetistas / construtores) com intuito de aumentar o trabalho colaborativo e IV) realizar adequações nos novos contratos junto aos terceirizados (entregáveis BIM).

Referências

- [1] SILVA, Taisa Soledade. Layout de varejo: análise do comportamento humano aplicada à arquitetura de varejo: um estudo arquitetônico para uma loja de Materiais de Construção em Urbano Santos (MA). 2020.
- [2] BITNER, Mary Jo. Servicescapes: The impact of physical surroundings on customers and employees. *Journal of marketing*, v. 56, n. 2, pp. 57-71, 1992.
- [3] SERRENTINO, Alberto. Varejo e Brasil: Reflexões Estratégicas. São Paulo, Varese Retail, 2a edição, 2016.
- [4] CASTILHO, Fernando. Conheça Cyro Ferreira da Costa, homem à frente do seu tempo que inovou Ferreira Costa, referência em Home Center no Nordeste. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/colunas/jc-negocios/2021/07/12369820-conheca-cyro-ferreira-homem-a-frente-do-seu-tempo-que-inovou-na-ferreira-costa-referencia-em-home-center-do-nordeste.html>. Acesso em: 20 dezembro 2023.
- [5] SUCCAR, Bilal; SHER, Willy; WILLIAMS, Anthony. An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in construction*, v. 35, pp. 174-189, 2013.
- [6] SUCCAR, Bilal. Building information modelling maturity matrix. In: *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: Concepts and technologies*. IGI Global, 2010, pp. 65-103.
- [7] HAN, Jiawei; PEI, Jian; TONG, Hanghang. *Data mining: concepts and techniques*. Morgan kaufmann, 2022.
- [8] BIMFORUM. LOD Specification 2018 Part I: For Building Information Models and Data. September, p. 253, 2018.
- [9] Polski Związek Pracodawców Budownictwa. *BIM Standard PL*: Warszawa, Poland, 2020.
- [10] SUCCAR, Bilal; SALEEB, Noha; SHER, Willy. Model uses: foundations for a modular requirements clarification language. *Australasian Universities Building Education (AUBEA2016)*, p. 1-12, 2016.
- [11] MESSNER, John. *BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0*. 2023.
- [12] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da Informação Acerca de Trabalhos da Construção – Gestão da Informação usando a Modelagem da Informação da Construção – Parte 1 Conceitos e Princípios, 2022.
- [13] ISO 16739-1: 2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries-Part 1: Data schema [Electronic resource], 2018.

Avaliação da implementação do BIM em PME das Regiões Interiores de Portugal e do Brasil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.28>

João Leonardo Favero²,
Heloiza Piassa Benetti², Paulo Costeira Silva¹

¹ Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, ID ORCID 0000-0003-1123-0816

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Resumo

A implementação da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) em Pequenas e Médias Empresas (PME) é um processo que, no interior de Portugal e em algumas regiões do Brasil está, ainda, praticamente no começo.

Para melhor compreender o estado atual da utilização e de maturidade do BIM e as estratégias de implementação que foram adotadas pelas PME, desenvolveu-se um questionário que foi distribuído, de forma anónima, por empresas do setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) de Portugal e do Brasil. Este estudo foi circunscrito às PME sediadas na Comunidade Intermunicipal (CIM) Viseu Dão-Lafões, Portugal, e nas microrregiões de Pato Branco e Palmas, Paraná, Brasil. Obtiveram-se 31 respostas válidas, 15 empresas do Brasil e 16 empresas de Portugal.

Neste artigo serão apresentados e discutidos os resultados mais relevantes deste estudo, em particular, as principais dificuldades enfrentadas, bem como os motivos para que algumas PME ainda não tenham iniciado o processo de implementação do BIM, além das vantagens e dificuldades observadas no processo de implementação pelas PME que, já optaram por incluir a metodologia BIM no seu sistema de trabalho.

Com este trabalho, os autores concluíram que o investimento inicial e a qualificação dos recursos humanos são os principais motivos que levaram 22 PME a não terem iniciado o processo de implantação BIM ou, apenas estejam a iniciar o seu uso. Em relação às PME que já utilizam o BIM, duas PME optaram por uma estratégia de implementação baseado num problema, enquanto quatro PME adotaram uma estratégia de implementação progressiva do BIM.

1. Introdução

Nos dias atuais, a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) vem sendo bastante difundida e as suas vantagens começam a ser reconhecidas por grande parte da indústria AECO, mas também a nível governamental, como por exemplo no Brasil, com a publicação do Decreto n.º 10.306, de 2 de abril de 2020, que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizadas pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal [1].

O BIM, como outras ferramentas, oferece benefícios e oportunidades. A sua metodologia de implementação é diferente para cada empresa. Apesar do tempo e esforço investidos na melhoria do uso da ferramenta, a recompensa vem da economia de tempo e custos que beneficiam o processo construtivo [2].

Porém, a implementação do BIM ainda traz desafios e dificuldades, como por exemplo, os custos significativos associados, quer com a aquisição de licenças dos *software*, como com o investimento em *hardware* capaz de garantir as exigências que os modelos BIM acarretam. Além disso, é necessário ter em conta o fator humano para o sucesso dessa implementação e, sobre este aspeto, concorrem dois fatores negativos: a mudança de processos de trabalho, que pode levar, inicialmente, à perda de produtividade e o facto de a formação em BIM ser crucial. O aumento das qualificações dos recursos humanos envolvidos é um investimento cujo retorno só se verificará posteriormente [3].

Por estas razões, para se implementar o BIM é aconselhável desenvolver uma estratégia que assegure todas as especificidades relacionadas com cada empresa e com a sua envolvente [4].

Venâncio [5] no estudo que realizou, em 2015, concluiu que o BIM em Portugal estava numa fase ainda embrionária, que os conceitos do BIM eram mais conhecidos nos meios académicos, seguido das empresas de construção e dos gabinetes de projeto. Verificou, ainda, que a adesão ao BIM estaria condicionada pelo número de empresas que conheciam esta metodologia e que, para as empresas de construção, o principal fator para implementarem o BIM estava relacionado com a solicitação por parte dos donos de obra.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) [6] identificou os obstáculos mais relevantes à implementação da metodologia BIM como sendo as barreiras culturais e peculiaridades brasileiras que incluem a busca por resultados rápidos e económicos, a falta de planeamento e de ensino sobre o BIM no ensino superior, para além da ausência de interesse em colaboração.

Atendendo que a maioria do setor da construção, em Portugal e no Brasil, é constituído por Pequenas e Médias Empresas (PME) e que nesses dois países as regiões do interior possuem diversas assimetrias relativamente a outras regiões, considera-se que para melhor compreender e estado atual da utilização do BIM pelas PME dessas

regiões seria desejável a realização de um estudo que permitisse obter um retrato dessa situação.

2. Caracterização das Pequenas e Médias Empresas (PME) em Portugal e no Brasil

A caracterização das PME em Portugal baseou-se no Guia do Utilizador PME [7].

A Comissão das Comunidades Europeias adotou, em 1996, uma recomendação que instituiu a primeira definição aceite de PME. Esta definição tem sido amplamente utilizada em toda a União Europeia. Para levar em conta a evolução económica após 1996, a Comissão adotou uma nova recomendação em 6 de maio de 2003. O diploma entrou em vigor em 1 de janeiro de 2005. Os limites definidos de micro, pequena e média empresa estão ilustrados na Figura 1.

Categoria da empresa	Efectivos: Unidade de Trabalho-Ano (UTA)	Volume de negócios anual	Balanço total anual
Média	< 250	≤ 50 milhões de euros (em 1996, 40 milhões de euros)	≤ 43 milhões de euros (em 1996, 27 milhões de euros)
Pequena	< 50	≤ 10 milhões de euros (em 1996, 7 milhões de euros)	≤ 10 milhões de euros (em 1996, 5 milhões de euros)
Micro	< 10	≤ 2 milhões de euros (anteriormente não definido)	≤ 2 milhões de euros (anteriormente não definido)

Figura 1
Limites para definição de PME na comunidade europeia (adaptado de [7]).

No Brasil, os critérios usados nas várias classificações existentes determinam o que constitui uma Pequena e Média Empresa [8]. As PME, no Brasil, são categorizadas pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas Empresas (SEBRAE) de acordo com os critérios de receita bruta e número de funcionários [9]. Os critérios adotados pelo SEBRAE e BNDES [10] para categorizar as empresas de acordo com a sua faturação são apresentados na Figura 2.

Figura 2
Critérios de classificação
de empresas no Brasil
[9, 10].

Tipo de empresa	BNDES (ROB ou renda anual)	Simples Nacional (Receita Bruta)	Sebrae (Número de empregados)
Microempresa	Menor ou igual a 360 mil reais.	Aquela com receita bruta igual ou inferior a 360 mil reais.	Para serviços e comércio: Até 9 empregados. Para indústria: Até 19 empregados.
Pequena empresa	Maior que 360 mil e menor ou igual a 4.8 milhões de reais.	Aquela com receita bruta superior a 360 mil reais e igual o inferior de 4.800 mil reais.	Para serviços e comércio: De 10 a 49 empregados. Para indústria: De 20 a 99 empregados.
Média empresa	Maior que 4.8 milhões e menor ou igual a 300 milhões.	-	Para serviços e comércio: De 50 a 99 empregados. Para indústria: De 100 a 499 empregados.
Grande empresa	Maior que 300 milhões.	-	Para serviços e comércio: De 100 ou mais empregados. Para indústria: De 500 ou mais empregados.

3. Método do estudo

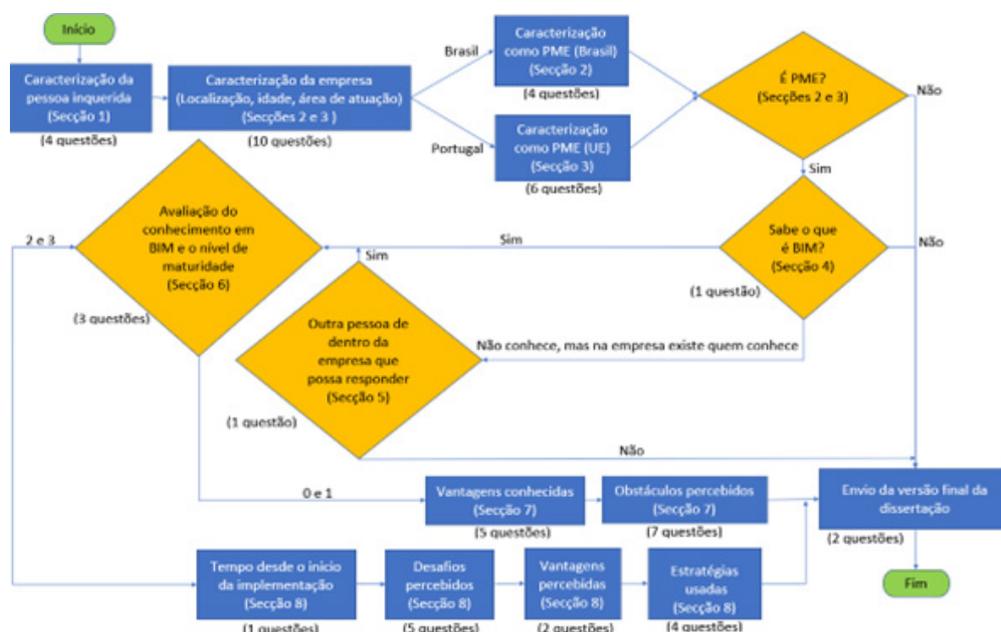
Para o desenvolvimento deste estudo, foram consideradas duas regiões: a primeira, localizada em Portugal, é a CIM Viseu Dão-Lafões, onde está sediado o Instituto Politécnico de Viseu (IPV), composta por 14 municípios e com uma população estimada, em 2020, de 252.688 habitantes. No Brasil, a escolha recaiu sobre as microrregiões de Pato Branco e Palmas, no estado do Paraná. A seleção deu-se em função da conexão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) com a região, e também para que houvesse similaridade com a região portuguesa escolhida (CIM Viseu Dão-Lafões). As duas microrregiões de Pato Branco e Palmas possuem 15 municípios e têm uma população estimada, em 2020, de 267.234 habitantes. Relativamente aos requisitos de classificação das PME, foi considerado neste estudo o critério referente ao número de efetivos/empregados estabelecido em cada país, uma vez que em relação ao Brasil não é definido nenhum limite para a receita bruta de uma PME.

3.1. Caracterização da utilização do BIM pelas PME

A partir da delimitação da área de estudo foi realizada a caracterização da utilização do BIM pelas PME. Para isso foi desenvolvido um questionário que pudesse ser respondido por PME do Brasil e de Portugal.

Por meio de um questionário único, com nove secções, procurou-se obter informações relacionadas com a utilização do BIM pelas PME, como o nível de conhecimento que têm sobre o BIM, quantas PME nas regiões selecionadas usam o BIM, quais são as principais utilizações do BIM, quais são os principais obstáculos que as PME enfrentam na adoção do BIM, quais são as principais vantagens e desvantagens da

utilização do BIM pelas PME, entre outras. Como se ilustra na Figura 3, foi possível caracterizar distintamente as PME de Portugal e do Brasil.



A primeira secção do questionário conta com quatro perguntas para caracterizar o respondente, conduzindo-o, em seguida, para a segunda secção, com quatro perguntas, para a caracterização das empresas das microrregiões de Pato Branco e Palmas, no Paraná, ou para a terceira secção, com seis questões, para a caracterização das empresas da CIM Viseu Dão-Lafões. As empresas que cumpriam o requisito previamente descrito referente ao número de efetivos/empregados foram consideradas PME e direcionadas para a secção quatro do questionário, onde se pretende avaliar, com uma pergunta, se o respondente está ou não familiarizado com o conceito BIM.

Se o respondente não conhecer o conceito BIM é conduzido para a última secção e termina o questionário ou pode sugerir outro contato na empresa para responder ao questionário (secção cinco). Os respondentes familiarizados com o BIM prosseguem para a secção seis.

A sexta secção visa avaliar como a empresa utiliza, na atualidade, a metodologia BIM e o seu nível de maturidade. Para tal, foram definidas três questões, a que associa a metodologia BIM, como obteve o conhecimento sobre o BIM e como classifica o uso do BIM no trabalho da empresa. As secções sete e oito contêm 12 perguntas, com as quais se procurou avaliar qual o estado atual do BIM na visão das PME, consoante o seu nível de maturidade 0-1 e 2-3, respetivamente.

Na sétima secção procurou-se avaliar como as empresas com níveis de maturidade BIM 0-1 consideram a metodologia BIM no cenário atual e entender os motivos pelos quais o uso do BIM não é mais intenso dentro da organização.

Aos respondentes das PME classificadas nos níveis 2-3 de maturidade BIM foram colocadas questões sobre como foi o processo de implementação do BIM na empresa.

O questionário completo compreende um total de 45 perguntas, em que cinco são abertas e 40 são fechadas. Durante o processo de desenvolvimento do questionário foram observados questionários de trabalhos anteriores com propostas semelhantes, como o questionário feito por Lima Venâncio [5] e os questionários desenvolvidos por Alves *et al.* [11], Barreto *et al.* [12] e pela McGraw-Hill Construction [13].

O questionário foi distribuído às empresas por e-mail. Em Portugal, foram contactadas 664 empresas, cujos contactos estavam disponíveis numa base de dados pública disponibilizada pelo IPV para o estudo. Num segundo momento, o questionário foi enviado para os ex-alunos do Departamento de Engenharia Civil do IPV por meio do “Instagram” e “Facebook” e para os membros da Ordem dos Engenheiros da Região Centro e da Ordem dos Engenheiros Técnicos, por meio da colaboração com essas ordens profissionais. A mesma metodologia se aplicou às empresas brasileiras, buscando alcançar, dentro da empresa, a pessoa correta para responder ao questionário. Foi solicitada a colaboração do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná (CREA-PR) para distribuir o questionário pelas empresas cadastradas nas cidades da região considerada neste estudo, por meio do seu sistema de mailing e a UTFPR também enviou o questionário para os contatos possíveis.

4. Resultados mais relevantes

O questionário proposto obteve um total de 58 respostas, 33 foram de empresas de Portugal e 25 de empresas do Brasil. No final da validação, foram excluídas 27 respostas porque as empresas não estavam sediadas na área geográfica estabelecida no estudo (14 portuguesas e nove brasileiras) ou não respeitavam os requisitos para serem consideradas PME (três de Portugal e uma do Brasil). Assim, os resultados válidos referem-se a 16 empresas de Portugal e 15 do Brasil, totalizando 31 PME. Porém, só serão apresentados resultados de 28 PME (15 do Brasil e 13 de Portugal), porque três delas afirmaram desconhecer o BIM. As 13 PME de Portugal apresentaram um balanço total no ano transato inferior a 2 milhões de euros (limite considerado para as microempresas). Destas 28 empresas, seis PME foram classificadas nos níveis de maturidade 2 ou 3, em que o BIM faz parte do seu processo de trabalho, sendo quatro do Brasil (uma na área de projetos de arquitetura, duas na área de projetos de engenharia/complementares e a outra na área de execução de obras) e duas de Portugal (uma na área de projetos de arquitetura e a outra na área de projetos de engenharia/complementares). As 22 PME que ainda não iniciaram a implementação do BIM, atuam nas seguintes áreas: no Brasil, três executam projetos de arquitetura, três dedicam-se à execução de obras, duas realizam projetos de arquitetura, projetos de engenharia/complementares e execução de obras, uma desenvolve projetos de arquitetura e execução de obras e uma executa projetos de engenharia/complementares; em Portugal, seis fazem projetos de engenharia/complementares, duas dedicam-se à execução de obras, uma realiza projetos de arquitetura, projetos

de engenharia/complementares e execução de obras, uma desenvolve projetos de arquitetura e projetos de engenharia/complementares e uma efetua projetos de engenharia/complementares e execução de obras.

Sensivelmente 71% das respostas foi obtida de respondentes com idades inferiores a 45 anos.

Na Figura 4 ilustram-se os resultados sobre o conhecimento atual das PME em relação ao BIM.

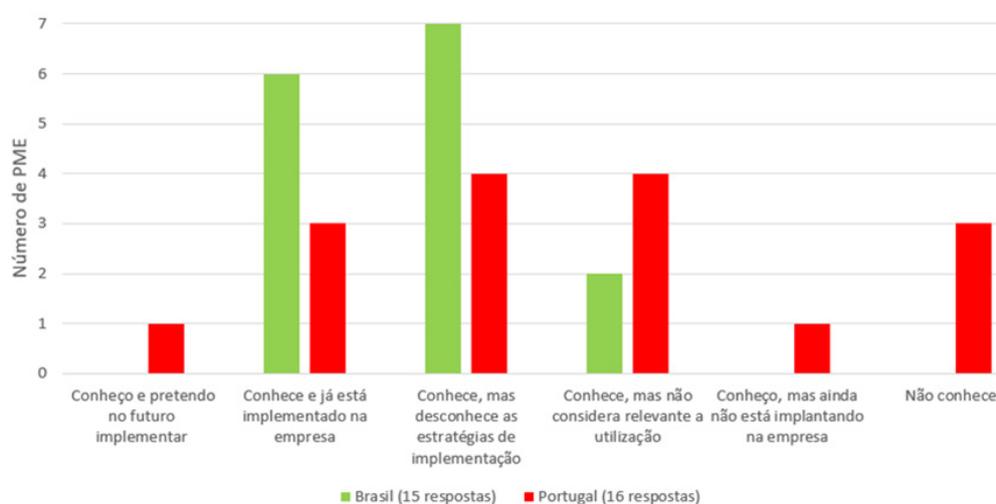


Figura 4
Conhecimento em relação ao BIM (Brasil e Portugal).

Neste estudo 43% das PME afirmaram ter obtido conhecimento do BIM através de formação académica, 32% por formação profissional e 25% através de pesquisas. Também foi possível perceber que a importância da formação académica como fonte de conhecimento sobre a metodologia BIM é muito mais expressiva no Brasil, com 10 PME brasileiras e apenas duas PME portuguesas.

Para as 22 PME (11 em cada país) que ainda não usam o BIM ou que o utilizam com modelos de especialidades separados, destacam-se os seguintes resultados:

- As PME valorizam a aquisição de conhecimentos de BIM, sendo que cinco PME, no Brasil, e quatro PME, em Portugal, pretendem investir em formação BIM a curto prazo. As restantes não consideram essa opção.
- Em Portugal, sete das PME desconhecem as ofertas de formação BIM no mercado, enquanto três PME têm conhecimento de formações e uma refere que o mercado não oferece soluções. No Brasil, seis das PME tem conhecimento de formações BIM no mercado, uma considera que o mercado não tem e quatro PME não sabem.
- As vantagens que estas PME reconhecem ao BIM são: a maior qualidade geral do projeto; a redução de erros e omissões; melhoria na compreensão pela visualização tridimensional e a maior fiabilidade na coordenação.

- Relativamente aos desafios existentes para a implementação do BIM, as 22 PME consideraram como mais importantes: os custos altos de aquisição de *hardware* e *software*, de formação e de implementação, a falta de conhecimento sobre como implementar o BIM, a natureza fragmentada do processo de construção, a falta de diretrizes e incentivos por parte dos governos locais, a falta de suporte ou apoio por parte de superiores na adoção do BIM nas empresas, a falta de procura ou exigência (por parte dos clientes) para projetos detalhados em BIM e a falta de formação no ensino superior ou centros de formação do governo, conforme ilustrado na Tabela 1.
- Os principais motivos para as PME ainda não usarem o BIM são: o investimento necessário é muito elevado, os parceiros ainda não usam o BIM, as funcionalidades BIM atuais não são compatíveis com as necessidades da empresa, indisponibilidade para os técnicos adquirirem formação em BIM em simultâneo com o exercício da atividade profissional, o maior volume de trabalho são projetos de pequena/média dimensão e o valor das licenças dos *software* BIM é incomportável relativamente ao valor que os clientes estão dispostos a pagar pelos projetos.

Tabela 1: Principais desafios com a implementação do BIM

Desafios considerados importantes ou muito importantes	N.º de PME
Custos altos de aquisição de <i>hardware</i> e <i>software</i>	17
Custos altos de formação	16
Alto custo de implementação	16
Falta de conhecimento sobre como implementar o BIM	15
Natureza fragmentada do processo de construção	15
Falta de diretrizes ou incentivos por parte dos governos locais	14
Falta de suporte ou apoio por parte de superiores na adoção do BIM nas empresas	14
Falta de procura ou exigência (por parte dos clientes) para projetos detalhados em BIM	14
Falta de formação no ensino superior ou centros de formação do governo	14

Para as seis PME (quatro brasileiras e duas portuguesas) que utilizam o BIM como metodologia colaborativa com modelos partilhados com os intervenientes ou que o façam com integração, em tempo real, de todas as especialidades do projeto, destacam-se os seguintes resultados:

- Metade das PME iniciaram o processo de implementação há mais de cinco e menos de 10 anos e as restantes há menos de cinco anos.
- No que concerne a investimentos, a maioria das PME afirmaram que fizeram grandes investimentos em processos colaborativos, na formação técnica, em *software* e *hardware*.
- A quase totalidade das PME (cinco das seis) dão muita importância à aquisição de conhecimentos em BIM e manifestaram vontade em continuar a investir em formação nesta área.

- Os benefícios que foram avaliados como mais importantes pela maioria das PME foram: a maior qualidade geral do projeto e a redução de erros e omissões. A redução de tempo e custos e a melhoria na compreensão pela visualização tridimensional foram também considerados benefícios muito importantes para três PME.
- Sobre as estratégias que as PME adotaram para a implementação do BIM, quatro optaram por um processo de implementação progressivo e as outras duas por uma estratégia baseada num problema. É de salientar que uma PME desenvolveu um manual de procedimentos operativos e de boas práticas e outra desenvolveu um plano de execução BIM. Metade das PME consideraram a sua estratégia como boa e as outras três classificaram-na de razoável.
- Algumas PME, quando questionadas sobre o que poderiam ter feito diferente para melhorar o processo de implementação, referiram que o investimento em formação profissional deveria ser maior, que o processo de implementação deveria ter sido mais rápido e que deveria existir um compromisso de permanência na empresa, após a formação dada aos membros da equipa de trabalho.

5. Recomendações para a implementação do BIM nas PME

Na avaliação das estratégias de implementação do BIM as PME que utilizam o BIM há mais tempo referiram que optaram por um processo de implementação progressivo, isto é, a implementação do BIM numa empresa deve ser feita por etapas.

A primeira etapa refere-se ao diagnóstico e planeamento, ou seja, ao conhecimento da equipa que compõe a empresa, definindo-se uma estratégia para oferecer adequada formação do pessoal. Este aspeto é de grande importância para que todos os membros da equipa entendam o que é o BIM, para que compreendam como será implementado na empresa e qual a sua importância. Esta capacitação deve ser realizada em diferentes níveis, desde os conceitos mais básicos de BIM, para nivelar o entendimento sobre a metodologia, até ao conhecimento das ferramentas específicas que a empresa utilizará.

Ainda nesta primeira etapa a empresa deve identificar os processos e fluxos de trabalho atuais e qual a situação futura, que se pretende atingir com o BIM, garantindo que os processos da metodologia BIM se adequam às necessidades da empresa e não o inverso. Também é importante identificar as áreas em que o BIM pode trazer o maior valor para a empresa, a fim de as considerar prioritárias. Por isso, a empresa deve conhecer e entender muito bem os processos atuais, analisá-los, para então decidir sobre as alterações a fazer, para redesenhar os novos processos de trabalho que serão feitos em BIM.

A segunda etapa deve ser a escolha dos *software* que a empresa vai utilizar para conseguir atingir o seu objetivo. A escolha deve ser criteriosa e em função do plano traçado para a implementação do BIM.

Recorrer a consultorias externas especializadas em BIM pode ser de grande valor para o processo de implementação, especialmente em PME que dificilmente terão no seu quadro de pessoal profissionais já capacitados para coordenar a implementação. Muitas vezes os custos de horas de trabalho e erros no processo podem superar em muito o que se cobra por uma consultoria. Contudo vale ressaltar que a escolha da consultoria deve ser feita com extremo cuidado. Deve-se entender que um bom consultor vai entender o fluxo de trabalho da empresa e buscar as soluções BIM mais adequadas para cada caso.

Recomenda-se também que se desenvolva um plano de Implementação BIM, este também pode ser nomeado como BIP (*BIM Implementation Plan*). Segundo Bidarra *et al.* [14] é o documento onde se procura identificar os objetivos de curto, médio e longo prazo para a implementação do BIM, bem como o seu valor estratégico. Além disso, apresenta em pormenor todos os processos necessários, o nível de detalhe pretendido e todos os caminhos para tornar a metodologia BIM operacional na empresa. Com um plano de implementação BIM bem estruturado será possível otimizar os processos, minimizar os erros e reduzir os custos, além de se padronizar a comunicação entre os membros da equipa e de se sistematizar todas as medidas sugeridas e as demais decisões tomadas pela PME sobre o processo de implementação.

Será útil a realização dos primeiros processos em BIM, onde serão testadas as ferramentas aprendidas na capacitação, solucionadas as dificuldades que surjam e testados também os níveis de desenvolvimento dos modelos. Outra ferramenta útil à empresa é a elaboração do seu manual BIM, que deve conter o conhecimento adquirido durante a etapa de consultoria e que servirá de base para as atividades da empresa. Neste manual, também, deve constar algumas disposições jurídicas, como as abordagens de contratos de prestadores de serviço ou a venda de projetos.

6. Considerações finais

Estes resultados, com as limitações inerentes à representatividade da amostra, demonstram que ainda existe um caminho longo a percorrer nas duas regiões até que o BIM se torne a metodologia adotada pela maioria dos intervenientes no setor AECO.

A implementação do BIM em PME de construção pode enfrentar algumas dificuldades.

Uma das principais é o investimento inicial necessário para adquirir o *software* e capacitar o pessoal. O custo de licenciamento do *software* BIM pode ser considerável, e muitas PME podem não ter os recursos financeiros para investir nessa tecnologia. Além disso, é preciso formar os funcionários para usar o *software*, o que pode ser um desafio para as PME que não possuem orçamento para aprendizagem e formação. Para mitigar os custos de implementação do BIM, o fator mais relevante é evitar erros, a fim de evitar desperdício de recursos investidos, para isso a formulação de um plano de implementação bem estruturado é altamente indicada. Além disso, a adoção de um plano de implementação BIM mais gradual pode distribuir os custos

ao longo do tempo, preservando a saúde financeira das PME durante o processo de implementação.

Outra dificuldade é a falta de pessoal qualificado. Para lidar com a falta de formação, é fundamental investir em programas de formação e capacitação para fornecer aos profissionais da indústria as habilidades necessárias para trabalhar com o BIM. Isso pode incluir parcerias com instituições de ensino e o desenvolvimento de cursos especializados e formações personalizadas.

Outro constrangimento é a falta de apoio por parte de superiores na adoção do BIM nas PME. Para tal, pode ser necessário consciencializar a gestão sénior sobre os benefícios do BIM e os riscos de não adotar esta tecnologia. Isso pode incluir a realização de estudos de casos, apresentações e demonstrações para mostrar como o BIM pode melhorar a eficiência e reduzir os custos a longo prazo.

Também é preciso levar em conta que a adaptação às novas tecnologias e as mudanças de processos podem gerar problemas e quebra de produtividade. Logo, é importante que a empresa identifique as suas necessidades e avalie estratégias adequadas ao seu caso.

Referências

- [1] BRASIL, Decreto n.º 10.306, de 02 de abril de 2020, acedido em 23 de julho, 2022, <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>.
- [2] Landim, A.E.D.F.G., “Os Obstáculos à Implantação da Tecnologia BIM como Plataforma no Desenvolvimento de Projetos na Construção Civil: Uma Revisão Sistemática de Literatura”, Trabalho de conclusão de graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil, 2020.
- [3] Ferreirinha, M.P., “Do início do ciclo à vida do edifício à gestão de informação: BIM - metodologia e estudo de um caso”, Dissertação de Mestrado, Universidade Lusíada, Portugal, 2017.
- [4] Meireles, M.R.S., “Metodologia para definição da estratégia de implementação do BIM”, Tese de doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2018.
- [5] Venâncio, M.J.L., “Avaliação da Implementação de BIM – Building Information Modelling em Portugal”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.
- [6] CBIC, Coletânea de Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção. Brasília, DF, junho, 2016, acedido em 23 de julho, 2022, <http://cbic.org.br/bim/>.

- [7] Comissão Europeia, “Guia do Utilizador PME”, 2006, acessado em 23 de julho, 2022, http://www.ideram.pt/files/sme_user_guide_pt.pdf.
- [8] Costa, A.P.N., Leandro, L.A.L., “O Atual Cenário das Micro e Pequenas Empresas no Brasil”, XIII SEGET - Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2016, acessado em 23 de julho, 2023, <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos16/14924134.pdf>.
- [9] SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, Anuário do trabalho na micro e pequena empresa, 2013, p. 17, acessado em 6 de março, 2024, https://sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf
- [10] Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. “Porte de empresa Classificação de: Porte dos clientes”, acessado em 23 de julho, 2022, <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/porte-de-empresa>.
- [11] Alves, K.M., Antonio, D.F., Conde, K.M., Jesus, L.A.N., “Estudo de caso de implementação e compatibilização em BIM”, VI simpósio brasileiro de qualidade do projeto no ambiente construído, Uberlândia, MG, Brasil, 2019.
- [12] Barreto, B.V., Sanches, J.L.G., Almeida, T.L.G, Ribeiro, S.E.C., “O BIM no cenário de arquitetura e construção civil brasileiro”, *Construindo*, vol. 8, n. 2, jul./dez, 2016, acessado em 6 de março, 2024, <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/4811>.
- [13] McGraw-Hill Construction, “The business value of BIM in Europe”, 2010, acessado em 23 de julho, 2022, https://images.autodesk.com/adsk/files/business_value_of_bim_in_europe_smr_final.pdf.
- [14] Bidarra, L.P., Clemente, A., Costa, A., “Implementação BIM na NRV | NORVIA”, em *ptBIM 2020 – 3.º congresso português de building information modelling*, Porto, Portugal, 2020, pp. 951-959. doi:10.24840/978-972-752-272-9_0951-0959.

Implementação BIM na EMEL – Projeto piloto para parque de estacionamento – Lisboa

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.29>

Célia Penedo¹, Késia Alves²

¹ EMEL, Lisboa, Portugal

² Conexão BIM, Florianópolis, Brasil

Resumo

A EMEL – Empresa de Mobilidade de estacionamento de Lisboa é uma empresa Municipal detentora de um vasto parque de equipamentos públicos que necessita de projetar, construir e operar. Em Portugal a evolução da metodologia BIM, a nível de contratação pública, ainda encontra-se numa fase embrionária, mas a intenção da EMEL é de introduzir a metodologia nos seus processos internos de contratação a curto prazo, participando e conhecendo iniciativas já consolidadas. Uma dessas iniciativas foi um evento de partilha de experiências e conhecimentos com a Conexão BIM - Brasil, que explanou o modelo de contratação pública em BIM no Brasil. Esse evento foi um desbloqueador tendo estimulado uma busca por um modelo de iniciação do processo que fosse compatível com as limitações de contratação das entidades públicas. Assim lançou-se um desafio de cooperação internacional que resultou na constituição de uma equipa especializada e multifacetada de 22 profissionais, modelada pela Conexão BIM e coordenada conjuntamente com a EMEL. Neste artigo referem-se os desafios e vantagens deste projeto piloto, para que apartir dele, seja desenhado um caminho para o futuro da implementação do BIM na EMEL e concluiu-se a pertinência desses modelos de cooperação internacional entre organismos orientados para o interesse público.

1. Introdução

A transformação digital que se faz sentir de forma generalizada, surge na indústria da construção como uma mudança incontornável, que poderá trazer ganhos efetivos em eficiência, rigor e transparência [1]. Porém tamanha mudança requer um cuidado sobre tudo no que diz respeito a sua estratégia de adoção, de forma coordenada e sustentável. Nesse contexto, pode-se observar que o estágio de adoção de BIM em Portugal está se estruturando e as principais ações nesse sentido são:

A criação da BuildingSMART Portugal: Esta organização disponibiliza vários guias sobre BIM, além de criar padrões e referências para apoiar o avanço do BIM em Portugal CT197 Portugal - Guia Contratação BIM: No final de 2017, a CT197 de Portugal disponibilizou o Guia da Contratação BIM, um guia de apoio à contratação de serviços BIM [1].

Diversas normas citadas neste guia, podem auxiliar as autarquias a adotarem um caminho mais objetivo, menos dispendioso, rumo a adoção BIM.

Diversos congressos para auxiliar na disseminação do BIM tem sido realizado, entre os quais: Congresso BIM CENTRO, WIBIM Portugal, o ptBIM, entre outros.

Já o estágio de avanço da adoção do BIM no Brasil, sobre tudo na área pública, tem avançado de forma consistente e tem chamado a atenção de diversos países, sobre tudo no que se diz respeito ao conjunto de regramentos, leis, decretos que ajudam a regular o setor público, mas também segue em fase de estruturação, sendo as principais ações:

- A publicação da Estratégia BIM BR [2].
- Criação de diversas normas BIM, com destaque para a NBR ISO 19650 – 1 [3] que foi traduzida a partir da ISO 19650 – 1 [4].
- Cadernos e especificações BIM do DNIT [5].
- Cadernos de especificações e contratações em BIM, publicados por diversas entidades, como CBIC, ABDI, ASBEA, conforme resumo das publicações citadas na referida tese [6].
- Iniciativas como a adoção do BIM pela Caixa econômica e outros bancos.
- Diversas obras públicas possuem seus guias de referência, destacando os documentos de referência do Metrô de SP.
- Vários decretos federais criados, destacando o mais recente, decreto 10.306 de 01 de abril 2021 [7].
- Decreto e plano de implementação BIM estaduais, dos 4 estados brasileiros, sendo eles: Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, com destaque para Santa Catarina [8], que produziu o seu primeiro caderno de especificação BIM em 2014 e que é amplamente utilizado até hoje [9].
- Nova lei de licitações 14.133, que entra em vigor em janeiro de 2024 [10].

- Construa Brasil, projeto do ministério da Economia, coordenado pela RECEPETi, que possui diversas ações para acelerar a adoção de BIM tanto no setor público, privado e no ensino, através de 30 células BIM pelo Brasil.
- Automação de regras do corpo de bombeiros de SC.
- Aprovação automatizada de projeto urbanístico, através do projeto simplifica Salvador.
- Frente parlamentar do BIM.
- Criação do BIM fórum Brasil, com a publicação de diversos guias de contratação, com destaque para o guia de elaboração de licitações [11].
- Criação da BuildingSMART Brasil.
- Lançamento da estratégia do FNDE – Fundo nacional de desenvolvimento da educação [12].

Por outro lado, sabe-se que a adoção no Brasil progride de forma estruturada, porém num ritmo lento em diversas áreas, tendo em vista:

- A dimensão geográfica do país.
- A falta de mão-de-obra qualificada, identificada conforme pesquisa aplicada pela ABDI aos diversos profissionais da construção civil no Brasil, registados no sistema CONFEA – Conselho federal de engenharia e agronomia e CAU – Conselho de arquitetura e urbanismo [13].
- A baixa adoção de BIM pelas instituições de ensino na graduação. Isso contribui para que profissionais recém-formados, busquem complementação da sua formação, para atender a atual demanda do mercado, gerando uma grande quantidade de oferta de cursos de pós-graduação em BIM, para atender esse público;
- A resistência a mudança na forma de trabalhar, sobre tudo os diversos profissionais que já atuam nas suas áreas específicas, e já as tem consolidadas [13];
- O alto custo para investimento em equipamentos, licenças e infraestrutura;
- A falta de estrutura de gestão de projetos no setor público e a falta de incentivos para capacitação;
- A falta de maturidade do cliente e dos principais contratantes, que ainda não conseguem entender ou valorizar os benefícios do BIM, que vão muito além da modelagem, mas que oferecem uma forma mais eficaz de gestão de recursos financeiros, naturais, de tempo e de esforço humano [13].

No Brasil, devido o nível lento de adoção, é necessário muito esforço de disseminação dos materiais, cursos e inúmeras ações governamentais e da sociedade civil organizada, para que as mesmas sejam conhecidas.

Essas ações são apenas um resumo, pois existem muitas outras em andamento. Muitos profissionais brasileiros têm participado em eventos internacionais para compartilhar as suas experiências e gerar assim uma troca positiva de conhecimento.

Foi nesse contexto que houve a primeira interação e iniciativa de cooperação entre a EMEL e a Conexão BIM através da Eng^a Késia Alves, quando da participação da

Eng^a Célia Penedo no 4.º PTBIM e no 4.º BIM CREA-SC, realizado em Florianópolis, em 2022.

Após essa oportunidade, foi realizado um encontro na sede da EMEL, em março de 2023, Lisboa, onde foi sugerido um projeto piloto em parceria com a instituição, contando com o apoio de diversos profissionais voluntários, que fazem parte de rede de contato da Conexão BIM, que vem desempenhando papel importante de disseminação do BIM, sobre tudo no setor público, através do projeto Liga BIM nas Prefeituras.

Foi possível nesse encontro e através de diversas reuniões, perceber que os desafios enfrentados pelas instituições públicas Brasileiras e Portuguesas são muito parecidos e que seria muito valiosa a cooperação entre ambos. Assim nasceu a parceria para apoio ao projeto do estacionamento da EMEL

2. Resumo do projeto

O projeto em questão trata-se do estacionamento público, em estrutura em betão armado, com pilares e lajes maciças, com paredes interiores e perimetrais construídas em alvenaria de tijolo rebocado, com fundações compostas por estacas, blocos e vigas de betão. O projeto prevê uma capacidade total de 89 vagas de estacionamento, das quais 57 distribuídas pelos Pavimentos 0 e 1, e 32 na Cobertura. Considerando a superfície de pavimento total de aproximadamente 2.300m² obtém-se uma área média de 25.55m² /lugar.

Figura 1
Imagem ilustrativa do projeto do estacionamento da EMEL.



Data de início do projeto: 2020

Fecho do Projeto: 2022

Projeto desenvolvido em 2D: 100%

Empresa que desenvolveu o projeto: Formato EC

Previsão de início de execução da obra: 1.º trimestre de 2023

2.1. Objetivos

Os objetivos principais do projeto piloto desenvolvido pela equipa de voluntários no Brasil, foi possibilitar a geração de um modelo 3D, coordenado e que através do mesmo, que as principais inconsistências fossem identificadas ainda na fase de projetos, evitando aditivos na fase de execução. O modelo deveria possuir informação para que o mesmo fosse utilizado para a gestão do tempo, gerando um cronograma da obra, vinculado ao modelo.

Este modelo deveria apoiar a EMEL na fase de gestão da obra, ajudando no controle de execução, desde que ele pudesse ser atualizado conforme o andamento e possíveis alterações na obra.

E como objetivo final, prendia-se elaborar uma planilha de requisitos conforme estabelecido na ISO 19650 para controle de requisito da informação. Mesmo esta sendo produzida após o término dos trabalhos e de forma retroativa, possibilitaria a EMEL em utilizá-la como template para novos projetos, utilizando assim como uma referência para entrada de dados e posteriormente para a elaboração do seu BIM mandate [14].

Como objetivo secundário e de grande relevância para a equipa executora, era gerar a experiência real, a partir de um case de elevada importância e que traria para a equipa uma possibilidade de interação com outros profissionais e real aplicação da experiência de trabalho colaborativo, para além da modelagem, considerando a gestão da informação.

2.2. Iniciação

Todos os documentos utilizados no trabalho, foram fornecidos pela EMEL e com a sua autorização. Foram devidamente armazenados no ambiente comum de dados. Utilizamos a plataforma da Catenda HUB para fazer esta gestão.

Todos os documentos foram listados e controlados através de uma lista mestra.

Após a leitura atenta dos documentos, contactou-se que:

- Não havia um padrão de nomenclatura para os arquivos;
- Não havia um BEP – BIM execution planing [14];
- Não havia uma planilha de requisitos de informação, para facilitar a entrada de dados e auditoria dos projetos;
- Todos os projetos fornecidos estavam no formato dwg, em 2D.

2.3. Principais desafios

Os principais desafios formam os prazos do cliente, a alocação de tempo da equipa, tendo em vista que o trabalho teve cunho social, pró-bono e isso implicava que a dedicação por muitas vezes não era plena pelos membros da equipa.

Outro ponto relevante foi a legislação e representação de algumas disciplinas que diferem das representações técnicas brasileiras. O real entendimento do escopo também foi um fator bastante relevante, tendo em vista a supervalorização da atividade de modelagem, em detrimento da especificação de requisitos. Sendo este um trabalho bastante diferente da estrutura convencional, a equipa teve alguma dificuldade em compreender o real benefício que seria oferecido para a EMEL, ao final do trabalho.

A experiência da equipa em modelagem foi um ponto positivo, mas a falta de experiência em trabalho colaborativo, foi a grande aprendizagem e que pode ser evidenciado até mesmo pela equipa da EMEL, que entendeu desta forma o real objetivo de elaborar um projeto colaborando simultaneamente, através da utilização plena de um ambiente comum de dados.

Outro aspecto do projeto foi a colaboração entre pessoas e softwares, com o uso de arquivos BCF (BIM Collaboration Format) [14] gerados no Solibri e posteriormente integrados ao CDE – Common data environment. Essa contribuição na visualização e comparação de informações entre os softwares foi fundamental para a equipa. A federação de projetos no CDE, utilizando todos os IFCs conforme as normas, permitiu que os membros da equipa acompanhassem o progresso do projeto de forma visual.

Todos esses desafios foram superados com a união da equipa, a colaboração de todos e com o apoio da equipa da EMEL, na dedicação da Eng^a Célia Penedo.

3. Estratégia de trabalho

O projeto foi dividido em macro etapas:

- Planeamento inicial: Definição do escopo, formação da equipa e validação do perfil, captação de apoio/patrocínio e reunião de documentos de entrada de dados;
- Execução: Análise/elaboração dos requisitos, elaboração da documentação e padrões, doação da licença de ambiente comum de dados e Solibri, modelagem, compatibilização e coordenação, criação do planeamento, conforme cronograma fornecido pela EMEL;
- Controle: Ajuste e parâmetros para trabalho colaborativo, definição de cronograma e realização de reuniões e validação do modelo;
- Encerramento: Apresentação dos resultados.

O fluxograma de trabalho adotado seguia um fluxo macro, iniciando nos materiais recebidos da EMEL, atividades em andamento, seguido do compartilhamento de informações, para finalmente realizar a publicação das informações. Um detalhamento maior dessas atividades pode ser verificado abaixo (Figuras 2, 3 e 4)

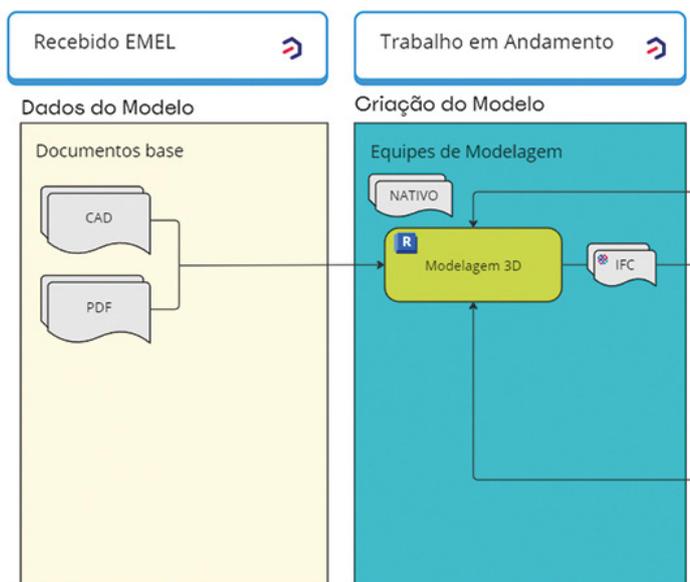


Figura 2
Fluxograma das atividades da equipe – Parte 1.

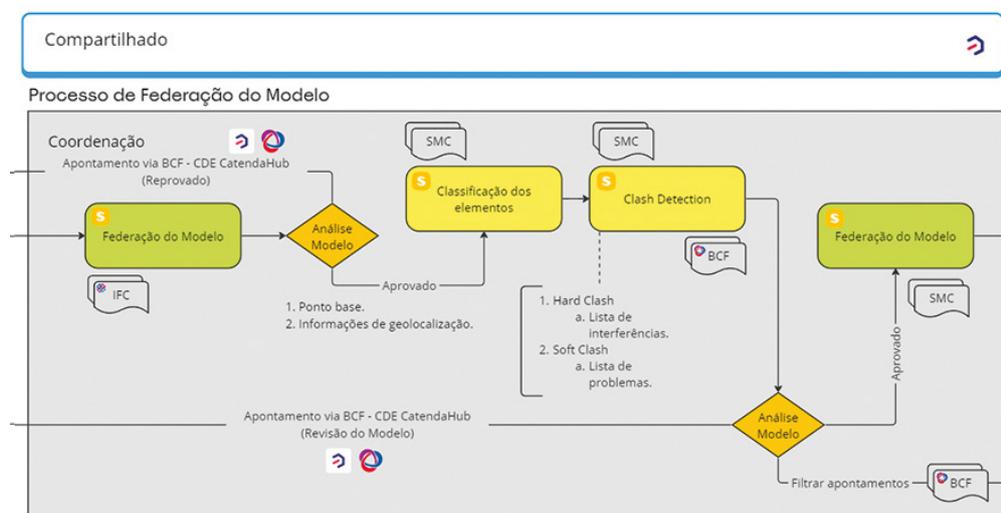
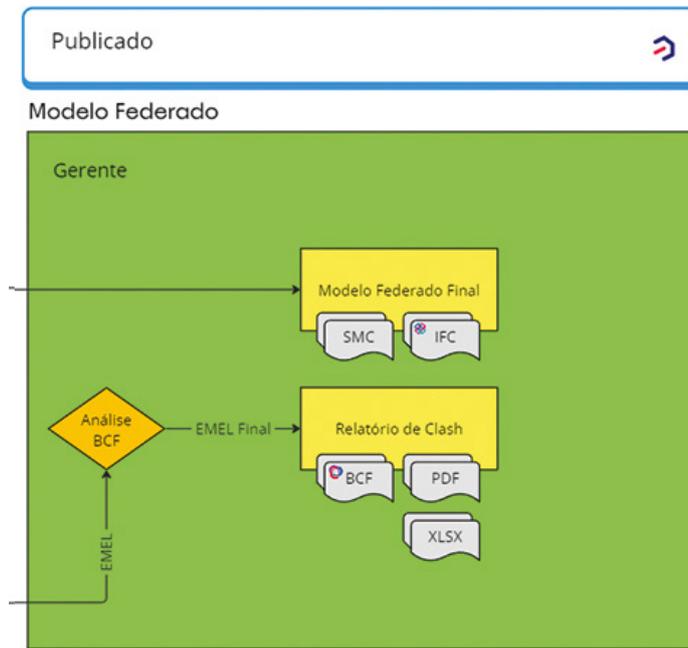


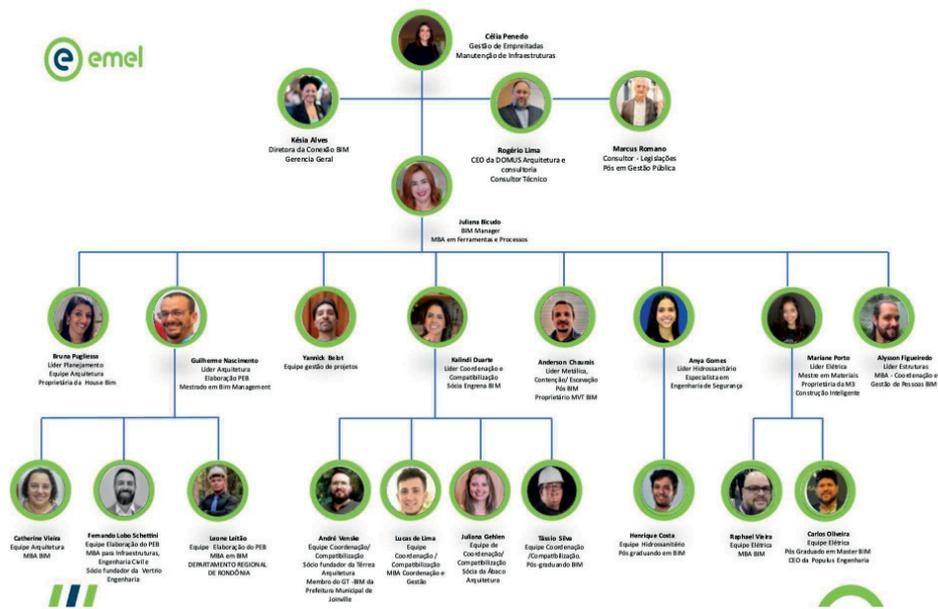
Figura 3
Fluxograma das atividades da equipe – Parte 2.

Figura 4
Fluxograma das atividades da equipa – Parte 3.



A figura 5 abaixo apresenta a designação da equipa envolvida.

Figura 5
Organograma da equipa.



Os usos BIM aplicados a este case foram a modelagem 3D, deteção de conflitos e simulação do cronograma. Para coordenação dos trabalhos, foi desenvolvido inicialmente um BEP, utilizado por todos da equipa.

Semanalmente era realizada a reunião geral do grupo, através de vídeo conferência, tendo em vista que todos os elementos da equipa estavam localizados geograficamente distantes.

Todas as informações e modelos foram armazenadas no CDE e sua estruturação seguiu o que preconiza a ISO 19650.

2.4. Resultados esperados

- Modelo 3D contendo informações disponíveis nos documentos técnicos fornecidos pela EMEL;
- Criação do modelo de planeamento que poderá ser utilizado pela obra e pela EMEL;
- Criação de planilha de requisitos que poderá ser utilizada como referência para outros projetos;
- Criação do BEP que poderá ser utilizado como referência para outros projetos;
- Integração entre os profissionais do Brasil e de Portugal.

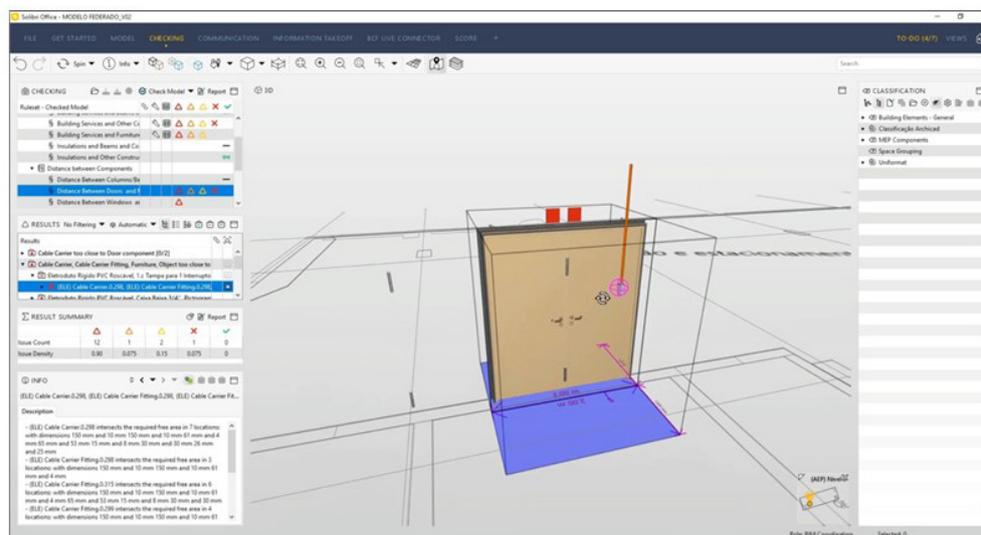
3. Resultados alcançados

Todos os objetivos esperados foram alcançados. Mesmo sendo necessário o ajuste do planejamento em função de necessidades, os objetivos foram além dos esperados. A equipa conseguiu também desenvolver as seguintes atividades:

- Criação do conjunto de regras utilizando a ferramenta Solibri, que poderá ser utilizado como referência para outros projetos;
- Utilização do ambiente comum de dados e estruturado conforme a ISO 19650;
- Integração entre equipa de projetistas e contratantes;
- Aprendizagem de projetistas que ainda não tinha contato com modelo colaborativo, mas apenas com a modelagem;
- Aprendizagem de projetistas que não tinham contato com projetos com especificação internacional;
- Elaboração de lições aprendidas por parte de todos os envolvidos;
- Cooperação com diversas empresas que apoiaram o projeto, como Catenda, CAD tec, entre outras;
- Apresentação do case em diversos eventos nacionais e internacionais;
- Apresentação do case no 5.º BIM CREA-SC;
- Preparação para publicação do artigo no 6.º PTBIM;
- Ampla divulgação nos canais da conexão BIM e diversas revistas técnicas, como o anuário BIM de SC.

Figura 5

Ocorrência levantada a partir de uma análise automática de recuos realizada no Solibri.



4. Ações futuras

Este projeto é um exemplo de como a colaboração entre Brasil e Portugal pode ser uma fonte de inovação e avanço nos projetos de infraestrutura. A EMEL espera que essa parceria traga uma visão de futuro para a digitalização de seus projetos e que seja um grande passo para a implementação do BIM e as suas operações, com a intenção de trazer mais eficiência e qualidade para a mobilidade urbana em Lisboa. As ações futuras que podem ser desencadeadas a partir desse primeiro experimento são:

- Utilização de uma padronização da planilha de requisitos de projetos;
- Elaboração de um BIM Mandate exclusivo da EMEL;
- Criação de um caderno de especificações técnicas da EMEL;
- Criação de um BEP pré-contrato, dando diretrizes para que as empresas contratadas desenvolvam o BEP na fase de elaboração dos projetos em BIM;
- A utilização plena por parte da EMEL do ambiente comum de dados para gestão dos modelos contratados e também através de ferramentas tecnológicas que acelerem na verificação e validação de modelos, como Solibri ou Navisworks;
- Preparação e estruturação da EMEL para responder às exigências legais dos órgãos públicos, através da elaboração de um plano de implementação BIM que contemple não somente a gestão de projetos, mas também a gestão de obra e manutenção e gestão de ativos;
- Preparação da EMEL para aprovações automatizadas de projetos, sendo esses um dos grandes projetos em curso em Portugal;
- Preparação da EMEL para utilização de produtos que atendam ao passaporte digital, sendo esses um dos grandes projetos em curso na União Europeia.

Referências

- [1] CT197-BIM, Guia de Contratação BIM. Comissão Técnica de Normalização BIM, Portugal, 2017.
- [2] C. E. E. S. – M. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, ESTRATÉGIA BIM BR. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM, Brasília, 2018.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR ISO 19650-1, Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção, Rio de Janeiro, 2022.
- [4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 19650-1, 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., Geneva, Switzerland, 2018.
- [5] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES – DNIT, Caderno de requisitos técnicos BIM do DNIT, Brasília, 2022.
- [6] C. R. Magalhães, Macro adoção BIM: automação de um instrumento de avaliação de maturidade com ênfase no componente publicações notáveis – Tese de doutorado – UFRJ /FAU, Rio de Janeiro, Brasil, 2022.
- [7] GOVERNO FEDERAL - DECRETO 10.306, Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Build, Brasília, 2020.
- [8] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SIE, Guia de implantação e implementação BIM para órgãos públicos, Santa Catarina, 2022.
- [9] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, Caderno BIM – Apresentação de Projetos de Edificações em BIM, Santa Catarina, 2014.
- [10] GOVERNO FEDERAL – LEI 14.133, Lei de Licitações e Contratos Administrativos, Brasília, 2021.
- [11] BIM FORUM BRASIL, Guias de contratação BIM: diretrizes para licitações BIM : volume 3, Brasília, 2023.
- [12] FUNDAÇÃO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO – FNDE, Estratégia BIM FNDE, Brasília, 2023.
- [13] BIM FORUM BRASIL, Pesquisa Nacional sobre digitalização nas engenharias no âmbito da Indústria da Construção, Brasília, 2023.
- [14] BIM DICTIONARY, “BIM Dictionary plataforma,” [Online]. Available: <https://bim-dictionary.com>. [Accessed 10 dez 2023].

Estratégia de implementação BIM numa grande empresa – O caso da Geribello Engenharia

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.30>

**Giovani Costa¹, Bianca Languidi², Kesia Silva³,
Diego Benfca de Oliveira⁴, Larissa Araújo⁵,
José Carlos Lino⁶**

¹ Geribello Engenharia, São Paulo, ORCID iD 0009-0008-1191-2669

² Geribello Engenharia, São Paulo

³ Conexão BIM, Brasil

⁴ Consultores BIM, São Paulo

⁵ Universidade Federal de São Carlos, ORCID iD 0000-0003-0574-583X

⁶ Consultores BIM, São Paulo, ORCID iD 0000-0002-1227-600X

Resumo

O BIM no Brasil encontra-se em fase de consolidação, com uma estratégia pública de adoção e disseminação a nível central, cuja inclusão da sua obrigatoriedade para as obras públicas na nova lei de licitação, contribuirá ainda mais para a sua adoção generalizada. A Geribello Engenharia é uma empresa pioneira, sediada em São Paulo, contando atualmente com mais de 300 colaboradores, e que tem uma importante presença no mercado brasileiro. A sua atuação é multifacetada e abrangente em todo o espectro da área da consultoria na indústria AECO, prestando serviços que vão desde os projetos, aos acompanhamentos de obra até inspeções, levantamentos e ensaios entre muitos outros. Dando voz a uma enraizada cultura de inovação, a empresa sentiu a necessidade de iniciar um processo transversal de implementação do BIM envolvendo todos os seus setores. Para tal, foi constituído um grupo de trabalho BIM que preparou e planejou essa intervenção. Com menos de um ano de atuação, e com a colaboração de uma consultoria especializada, foram abordadas etapas de preparação, de nivelamento, de planeamento, de diagnóstico, de execução, de treinamento e de comunicação. Neste artigo apresenta-se o modo estruturado como esta implementação foi elaborada, e que poderá servir de exemplo a outras empresas ou entidades que visem esta metodologia, para uma transição digital moderna e eficaz.

1. Introdução

Já se fala de macro adoção do BIM no Brasil há mais de uma década. Inicialmente abordado em iniciativas acadêmicas e de pesquisa, passou a poder ser encontrado em empresas e profissionais, pioneiros em inovação, mas principalmente em sistemas de nicho. O setor privado e o mercado, mais ágeis que o setor público, começaram por tomar a dianteira, mas rapidamente o poder central, regional e mesmo municipal respondeu com iniciativas consistentes. Uma panóplia de manuais, documentos de apoio, regulamentos e mesmo decretos-lei, a fomentar e a reger a implementação e adoção do BIM, podem hoje ser compilados com facilidade.

Sem dúvida que estas iniciativas do setor público, serviram de catalisador para o setor privado, que não encara mais a transição para o BIM como uma opção senão uma inevitabilidade, muito em particular se tiver por clientes algumas destas entidades que já estão a demandar projetos e obras em BIM. Mas essa transição para o digital e para o BIM em particular, custa tempo, recursos e, talvez o mais importante, exige o envolvimento das pessoas e impele-as a saírem da sua zona de conforto.

A Geribello, empresa renomada no setor da construção civil, buscando manter a liderança e vanguardismo na sua atuação, e depois de uma experiência inicial há uns anos, mais recentemente, resolve abordar este assunto da implementação BIM de um modo sistemático e para tal decidiu constituir um grupo de trabalho BIM que se encarregou de desenvolver e implantar uma estratégia de transição para o BIM.

Neste artigo, após um enquadramento da situação do BIM no País e da apresentação da Geribello, apresenta-se toda a preparação e planeamento que esse grupo de trabalho BIM concebeu e elaborou, bem como o desenvolvimento que se lhe seguiu e que culminou numa implementação estruturada do BIM, com o apoio de uma consultora especializada, atendendo às principais dimensões da organização (Políticas, Pessoas, Processos e Tecnologias) e que segue os passos de adoção convencionados: Diagnóstico de Maturidade, Plano de Implementação BIM, Treinamentos e Capacitações e Projetos Piloto.

No final são compiladas as principais conclusões encontradas, face aos resultados atingidos.

2. O BIM no Brasil

O BIM no Brasil encontra-se atualmente em fase de consolidação, com uma estratégia pública de adoção estabelecida pelo governo central desde 2018 [1] (Figura 1).

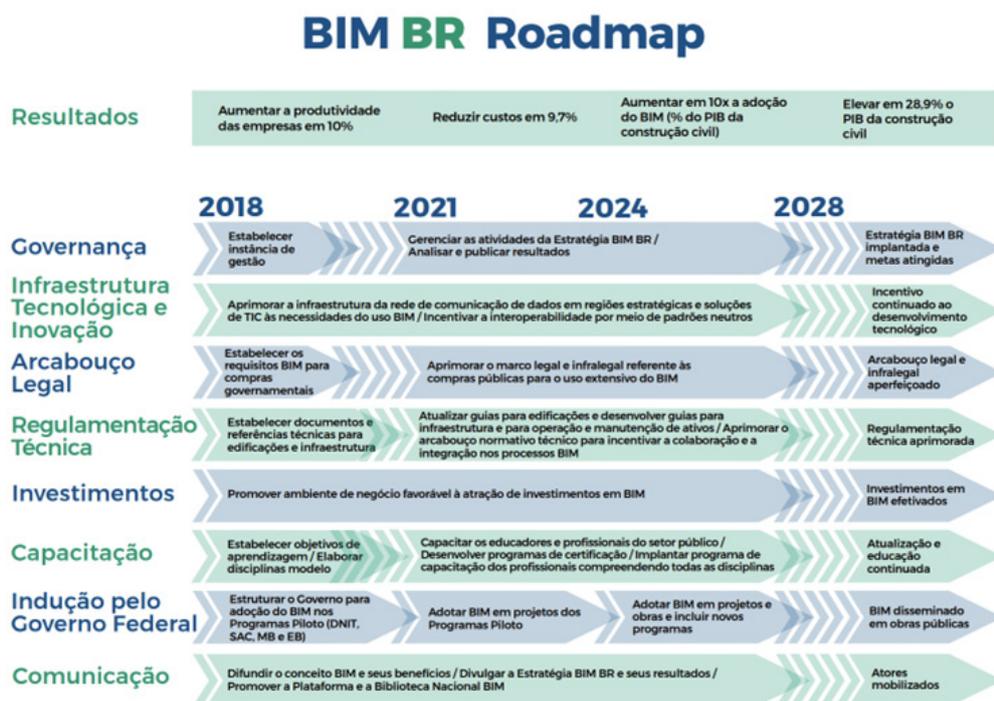


Figura 1
Roadmap da Estratégia BIM BR [1].

Esta estratégia tem vindo a ser complementada e consolidada com outras peças legislativas como seja o Decreto 10306 que estabelece a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia pela administração pública federal [2], ou mesmo a nova Lei das Licitações [3] que estabelece uma preferência para que as consultas e entregas nos Concursos públicos se façam em BIM.

Vários estados brasileiros têm incorporado este espírito de fomento à implementação BIM, seja a nível de Governo Estadual seja a nível de algumas secretarias particulares, dos quais Santa Catarina [4], Paraná ou Minas Gerais podem ser considerados exemplos a seguir.

O mesmo se pode encontrar a nível municipal. Não descurando as grandes diferenças de dimensão, de população e de infraestruturas que existem entre os milhares de municípios do Brasil, já se podem encontrar exemplos de iniciativas locais que começam a demandar e a regular a entrega em BIM para os seus projetos e obras como é o caso da Prefeitura de São Paulo, nomeadamente pela sua Secretaria Municipal da Habitação, quer na contratação [5], quer nas regras para modelação [6].

Outros grandes clientes de cariz público, têm começado a exigir que o projeto, construção e operação dos seus equipamentos e ativos construídos, seja baseado em BIM, de que são exemplos o FNDE – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação [7] ou o DNIT- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes [8], entre outros.

Mas da vontade e estímulo provocado pela iniciativa pública até à efetiva adoção, há ainda alguns passos a dar. O BIM FORUM Brasil em conjunto com a ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, desenvolveram uma pesquisa nacional em

que identificam o nível de adoção entre os profissionais e empresas, mas também as suas perceções e as principais barreiras que lhe estão associadas, criando um excelente documento de reflexão e apoio [9].

É neste enquadramento que a Geribello encarou a necessidade de integrar a metodologia BIM nos seus processos habituais.

3. Geribello Engenharia

Fundada em 1979, pelo Engenheiro Marcos Geribello, a Geribello Engenharia é uma empresa de engenharia consultiva com uma significativa atuação no mercado brasileiro, dispondo de um acervo técnico multifacetado e abrangente, contando com mais de 300 colaboradores. Desde a sua fundação até agora, a Geribello tem vindo a consolidar-se, como se pode constatar na visualização de vários marcos históricos ao longo de uma linha do tempo (Figura 2).

Em 2021 o fundador iniciou o processo de profissionalização da Geribello, de forma a garantir a perpetuação da companhia e a adoção das melhores práticas de governança, o que resultou numa estrutura organizacional moderna, sectorizada, capaz de responder aos desafios de mudança e adaptação solicitados pelo mercado. Uma das características marcantes da Geribello é o seu DNA de inovação e de valorização das pessoas, e que está materializado na identidade da empresa (Figura 3).

Da multiplicidade dos serviços que a Geribello presta, quer no setor público quer no privado, destacam-se:

- gerenciamento de empreendimentos
- levantamentos topográficos
- supervisão/fiscalização de projeto e obras
- estudos mercadológicos
- regularização fundiária
- modelagem de PPP e concessões
- gestão socioambiental
- inspeção acreditada de projetos e obras

Figura 2
Linha do Tempo da Geribello Engenharia.





Figura 3
Identidade da Geribello.

A companhia atua numa ampla gama de segmentos da infraestrutura, abrangendo 8,5 milhões de m² de edificações, 3,5 mil km de rodovias e 153 km de metros e ferrovias. Atualmente tem uma carteira de mais de 20 contratos, atuando em importantes clientes como a CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, a FDE - Fundação para o Desenvolvimento da Educação, a Metrô - Companhia do Metropolitano de São Paulo a CPTM - Companhia Paulista de Trens Metropolitanos e o DER - Departamento de Estradas de Rodagem, entre outros.

4. Grupo de Trabalho BIM

4.1. Experiência avulsa

Sendo a inovação, um conceito enraizado na cultura da Geribello Engenharia, esta já acompanhava o amadurecimento do BIM no mundo e no Brasil, avaliando a aplicação de seus potenciais usos aos nichos de serviços onde a empresa opera. Assim, em 2015, a Geribello efetuou sua primeira incursão diretamente no tema, realizando sua primeira modelagem em BIM, com o objetivo de efetuar o acompanhamento de cronogramas das obras da construção da Estação Engenheiro Goulart da CPTM (Figura 4). A modelagem da edificação permitiu a identificação de diversos conflitos das diferentes disciplinas de projeto. Além disso, a experiência de acompanhamento do cronograma de obras foi enriquecedora, permitindo que todos os participantes do empreendimento (cliente, construtora, supervisora, agentes governamentais) tivessem plena consciência do estágio de avanço das obras através da materialização, de forma gráfica e visual, dos pontos e serviços com divergência em relação ao planejamento. Tal instrumento contribuiu fortemente para melhor organizar o processo de fornecimento de materiais, além da realização de planos de ação, visando a recuperação dos atrasos de execução.

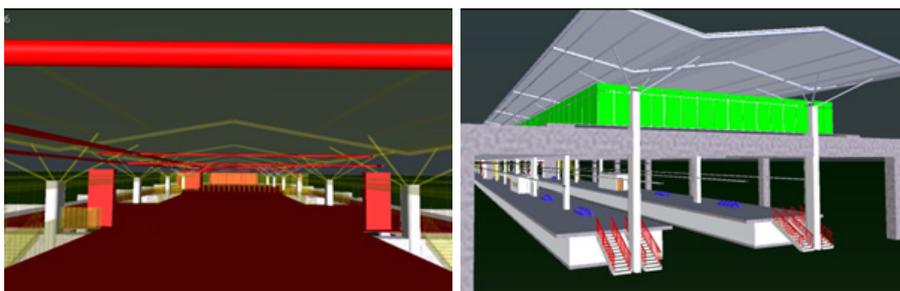


Figura 4
Modelação para acompanhamento de cronograma a) Semana 56 b) Semana 82.

Naquele momento, em função do processo estar bastante incipiente no Brasil, dos custos envolvidos na implementação do BIM e da baixa competência sobre o tema, a Geribello optou por seguir monitorando o desenvolvimento da metodologia, mas sem aplicação direta em seus demais contratos.

4.2. Preparação e nivelamento

Com o passar do tempo, perante o aumento da maturidade do mercado, o desenvolvimento tecnológico, perante as novas legislações, o aumento da demanda pelos clientes, os ganhos com otimização dos processos de trabalho, a redução de falhas em projetos e obras, a agilidade nos processos de tomadas de decisões, entre outras mais valias, emergiu a necessidade interna de avançar na implementação da metodologia BIM. No entanto, existiu a consciência que os serviços prestados pela Geribello não são padronizados, que os órgãos públicos e privados não estão plenamente familiarizados com a tecnologia e que ainda existem poucos contratos com uso do BIM para estimular e desenvolver a capacitação interna. É neste contexto que, em 2022, a Geribello decide iniciar um processo estruturado e transversal de implementação do BIM na empresa e em seus contratos.

Inicialmente, como forma de estimular o interesse dos profissionais da empresa sobre o assunto, realizou-se um convite amplo a todos os colaboradores convidando-os a participarem do Seminário “A Era BIM – 2022”, promovido pelo SINAENCO - Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva. Participaram mais de 25 profissionais da empresa. Após este estímulo, iniciou-se a etapa de preparação da implementação BIM, com a criação de um Grupo Técnico de Trabalho – GT BIM, para ser responsável por capitanear o conhecimento, a disseminação e implantação do BIM na Geribello. Para definição dos participantes foi aberto uma consulta a todos os colaboradores para manifestação do interesse e inscrição. O GT foi composto por um patrocinador da direção da empresa, responsável por definir as diretrizes, orientação estratégica e dar o apoio necessário, e oito membros de diferentes áreas, responsáveis pela condução dos trabalhos. A reunião de partida do GT BIM foi realizada em 02/02/2023, definindo como regra para seu funcionamento que a atuação das equipes não poderia impactar no desenvolvimento das atividades normais dos contratos. Estabeleceu-se o compromisso de dedicar, pelo menos, duas horas semanais ao tema, além de participarem de uma reunião semanal de alinhamento, onde se trocam experiências, avaliam o andamento de atividades, cumprimento dos objetivos e metas, além de conversar sobre a adoção e implementação da metodologia BIM na Geribello.

Foi elaborado um plano de trabalho inicial contemplando duas etapas: nivelamento e planejamento. A etapa de nivelamento visava efetuar uma equiparação de conhecimentos entre os participantes, abrangendo a realização de pesquisas e encontros para apresentação e discussões, contemplando os seguintes grupos de conhecimento: Conceitos Gerais do BIM; Legislações e Normas; Principais Ferramentas – Softwares; Profissionais de Referências no Mercado; Mapeamento de Clientes; Posicionamento de Concorrentes; Treinamentos Existentes.

4.3. Planejamento

A etapa de planeamento foi estabelecida sobre um Canvas, em que se contemplou a avaliação e definição dos objetivos e estratégias, os recursos necessários, mas também os riscos, com vista a obter sucesso numa implementação disseminada e efetiva na Geribello (Figura 5).

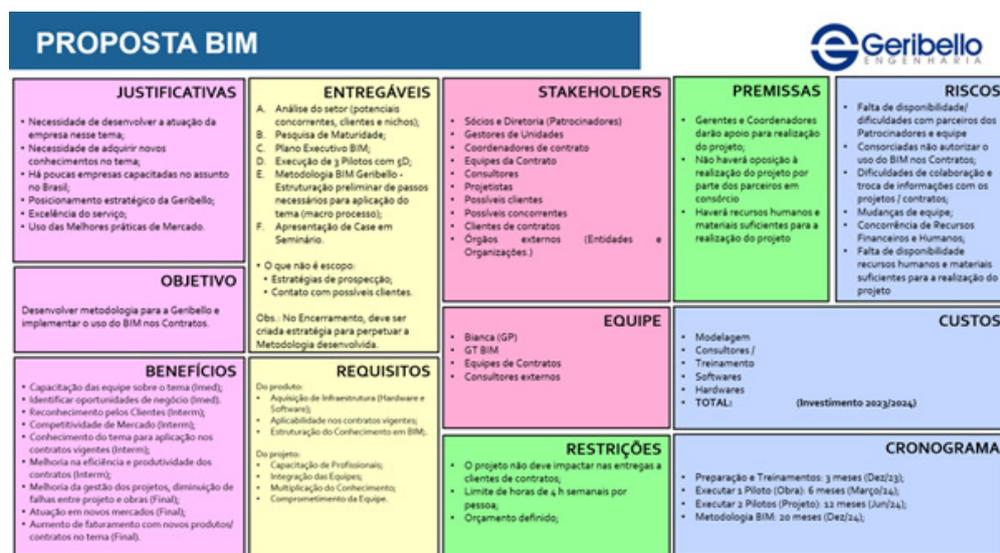


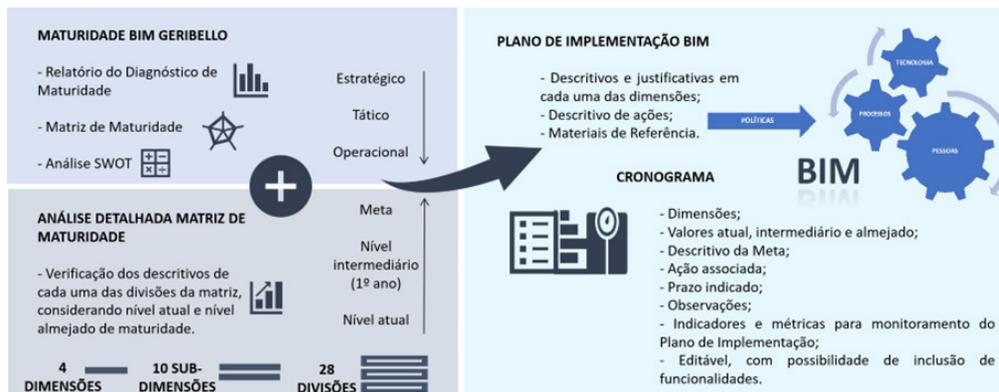
Figura 5 Canvas do planeamento da Implementação BIM na Geribello.

Durante as discussões para formulação do planeamento constatou-se a necessidade de contratação de consultoria especializada em implementação de BIM, para apoiar a Geribello no processo. Foram avaliadas diversas empresas e consultores de referência no mercado, optando-se pela Consultores BIM por sua metodologia e proposta diferenciada.

5. Implementação BIM

Do trabalho conjunto entre o GT BIM e a Consultores BIM, definiu-se uma metodologia de implementação essencialmente regulada por duas fases: a fase de diagnóstico e a fase de planeamento da execução. A primeira fase do trabalho consistiu no diagnóstico de maturidade, e a segunda fase abrangeu a elaboração do plano de implementação para a Geribello (Figura 6).

Figura 6
Metodologia de
Implementação BIM na
Geribello.



5.1. Diagnóstico de maturidade

Foi realizado um diagnóstico em que se procurou auscultar o posicionamento dos colaboradores em relação a esta temática e às implicações de mudança que esta acarreta. Esse diagnóstico foi essencialmente assente em questionários (um mais específico que teve 28 respondentes e um mais geral que teve 86 respondentes), bem como entrevistas pontuais com colaboradores chave. Com os resultados recolhidos, preencheu-se uma matriz de maturidade, organizada segundo as quatro dimensões convencionadas (Políticas, Pessoas, Processos e Tecnologia). Nessa matriz, foram também explicitadas as metas e níveis almejados para a utilização da metodologia BIM na organização. Na Figura 7 pode ver-se o resultado, em forma de gráfico de aranha, segundo as macro dimensões, mostrando o nível de maturidade atual, o almejado e um nível intermédio de acompanhamento intercalar.

5.2. Plano de implementação

De seguida, foi elaborado um Plano de Implementação BIM que, a partir de todos os dados recolhidos durante o diagnóstico, e para cada uma das dimensões, estabelece ações no tempo e com indicadores de desempenho. Interpretando a estratégia da empresa e o ecossistema de mercado em que a mesma se insere (análise SWOT), foi definida a visão, missão e objetivos BIM a atingir. Também se procurou empoderar ao máximo o GT BIM e assim potenciar a sua função de divulgação e disseminação do BIM na organização, nomeadamente redefinindo os perfis BIM a estabelecer.

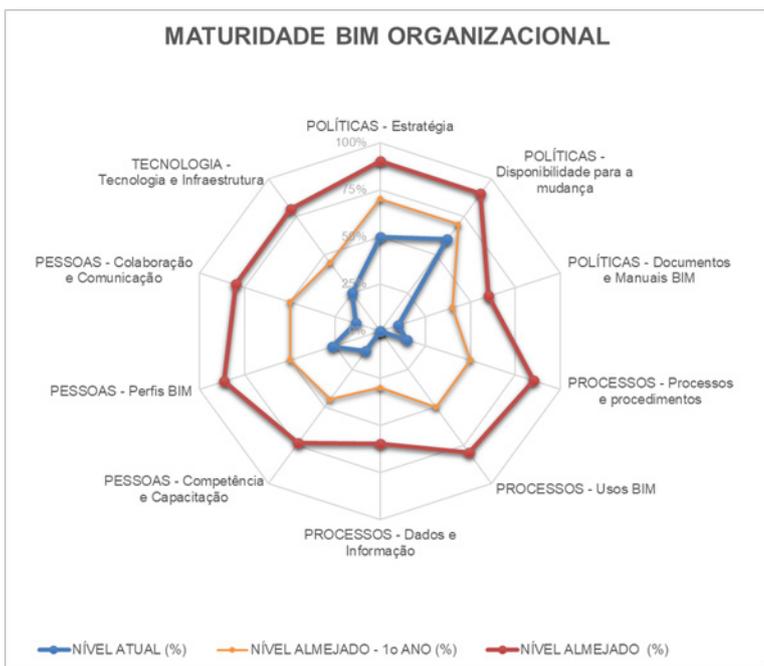


Figura 7
Maturidade BIM por Dimensões (do nível atual ao almejado).

Para atingir os objetivos definidos foram estabelecidos também usos BIM e ações a implementar, nomeadamente a criação de Caderno de Contratação de Projetos em BIM e do Plano de Execução BIM para cada contrato, além de documentos e manuais BIM atrelados aos padrões BIM preconizados nas normas vigentes.

Esse plano culmina num mapa/cronograma, dividido por dimensões, sub-dimensões e ações, com indicadores. Esse cronograma possui referências que podem atestar o avanço das ações, como forma de acompanhamento da Implementação nas abordagens operacional (até 4 meses), tática (até 1 ano) e estratégica (até 3 anos) (Figura 8).

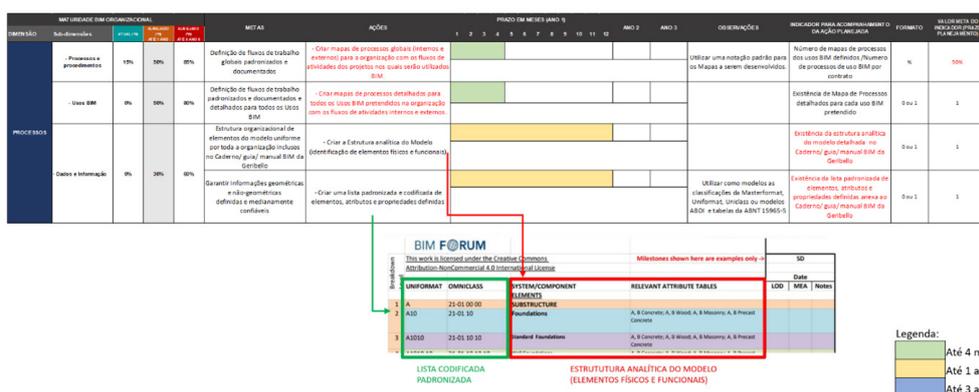


Figura 8
Extrato do cronograma de ações.

5.3. Treinamentos e capacitação

Ainda nesse plano é proposta a formação necessária para cobrir as lacunas entre o estado de maturidade atual e o almejado, de modo a levar a cabo as ações propostas.

Este plano de formação sugere 3 tipos de ações de treinamento e capacitação, desenhados à medida de cada perfil BIM considerado: Treinamento Conceitual, visando o nivelamento de conhecimentos e procurando engajar os colaboradores num objetivo comum, dotando-os da compreensão do processo (Figura 9); Treinamento ferramental, essencialmente no software necessário para cada função e treinamento de aplicação prática, normalmente associado a um projeto piloto, procurando apoiar à aplicação em casos reais dos dois tipos de conhecimento adquiridos anteriormente.

Figura 9
Calendário de
treinamento conceitual.



TREINAMENTO TEÓRICO GERIBELLO

	Sessão 1 xx/xx/2023	Sessão 2 xx/xx/2023	Sessão 3 xx/xx/2023	Sessão 4 xx/xx/2023	Sessão 5 xx/xx/2023	Sessão 6 xx/xx/2023
45 minutos	Introdução ao BIM AULA 1	Aplicações e exemplos BIM na Engenharia de Estruturas AULA 3	Aplicação BIM em Sistemas prediais e na Gestão em edifícios (BIM FM) AULA 5	BIM na construção: Casos práticos e gestão da obra II AULA 7	Gestão e contratação em BIM AULA 9	Normatização internacional e a BuildingSmart AULA 11
45 minutos					ATIVIDADE PRÁTICA II	
15 minutos	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo	Intervalo
45 minutos	Modelagem paramétrica/ Interoperabilidade AULA 2	BIM e a Arquitetura AULA 4	BIM na construção: Casos práticos e gestão da obra I AULA 6	ATIVIDADE PRÁTICA I	BIM na Gestão Pública: tendências e desafios AULA 10	Estado da arte da aplicação BIM nos contratos públicos
45 minutos				Implementação BIM na organização AULA 8		

5.4. Estratégia de comunicação

Grande parte do sucesso de uma implementação BIM passa pelo engajamento e mobilização dos colaboradores pelo que, desde cedo, a Geribello Engenharia elaborou algumas estratégias de modo a divulgar as ações em andamento nomeadamente: Votação do logótipo do GT BIM; Webinars internos; Divulgações quinzenais, através de email, para todos os colaboradores, de assuntos relacionados com o BIM; Divulgações sobre o tema no Boletim Mensal da empresa; Intranet do BIM, com objetivo de consulta sobre assuntos relacionados com o BIM e suas normativas; Disponibilização de um email para dúvidas e sugestões a respeito do assunto. Através das estratégias adotadas, observou-se um engajamento entre 27 e 33% do total de colaboradores da empresa.

6. Conclusões

Terminada a fase inicial desta implementação BIM, partindo dos dados recolhidos e pelo modo como decorreu esta experiência, extraem-se algumas conclusões principais: Confirmou-se que não existem receitas pré-concebidas para uma Implementação BIM. Foi notória a necessidade de adaptação dinâmica da metodologia e dos processos, dependendo da cultura, do ambiente e até das equipas envolvidas; Pela adesão dos colaboradores, pelos seus testemunhos e pelo modo como esta iniciativa foi acolhida, constata-se que este tema do BIM é muito atual, e desperta o interesse pessoal e a vontade de saber mais. Igualmente é percebido o reconhecimento da sua importância para a sustentabilidade da organização; A comunicação e partilha de

informação torna-se essencial para ultrapassar barreiras e inércias, desmistificando o processo e apoiando as equipas nesta transição; O modo estruturado como esta implementação foi preparada, facilitará as avaliações regulares e permitirá medir o nível de implementação a qualquer momento bem como a readequação dos objetivos e metas. Além disso esta estruturação poderá servir de exemplo a outras empresas ou entidades que visem esta metodologia para uma transição digital moderna e eficaz.

Ao concluir esta importante etapa inicial, a Geribello encontra-se mais preparada para atender as demandas BIM que cada vez mais estão a surgir por parte dos seus principais clientes, públicos e privados.

Agradecimentos

Durante toda esta jornada, o principal fator para o sucesso têm sido as pessoas. Sem elas nada teria sido atingido. Cabe assim um agradecimento especial a todos os colaboradores da Geribello que, entendendo a pertinência e inevitabilidade desta mudança, se disponibilizaram para ajudar e colaborar, junto com os autores deste artigo, neste projeto de inovação. Sem poder mencionar todos, fica aqui uma menção especial à Andresa Ferreira, Glória Vita Grecov, Lury de Medeiros, Karolina Borgo, Marcelo Oliveira, Nélio Toma e Valéria Fonseca. A eles, representando também todos os restantes, deixamos aqui o nosso muito obrigado.

Referências

- [1] MDIC – *Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM*, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, Brasília, 2018.
- [2] GOVERNO FEDERAL – DECRETO 10.306, *Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling*, Brasília, 2020.
- [3] GOVERNO FEDERAL – LEI 14.133, *Lei de Licitações e Contratos Administrativos*, Brasília, 2021
- [4] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SIE, *Guia de implantação e implementação BIM para órgãos públicos*, Santa Catarina, 2022.
- [5] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2, *Caderno de Projetos em BIM 2a edição*, São Paulo, 2022.
- [6] SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2, *Caderno de modelagem BIM 2a Edição*, São Paulo, 2022.

- [7] FNDE, *Estratégia BIM FNDE*, Fundação Nacional de Desenvolvimento da Educação – Brasília, 2023.
- [8] DNIT – *Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT*, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Diretoria de Planejamento e Pesquisa – Núcleo BIM,, Brasília, 2023.
- [9] BIM FORUM BRASIL, *Pesquisa Nacional sobre digitalização nas engenharias no âmbito da Indústria da Construção*, Brasília, 2023.

Barreiras à implementação do BIM em Portugal

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.31>

Miguel Lourenço¹, Amílcar Arantes²,
António Aguiar Costa³

¹ Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0009-0008-0699-4006

² CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0003-1207-5854

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-5123-4451

Resumo

O manuscrito tem como objetivo determinar as barreiras à implementação do BIM em Portugal. Uma lista de barreiras foi compilada da literatura e classificada por peritos através de um Inquérito Delphi, resultando em 15 barreiras críticas. De seguida, foi desenvolvido o modelo de *Interpretive Structural Modelling* (ISM), que representa as relações hierárquicas entre as barreiras, seguida da análise MICMAC, que representa as forças de dependência e influência. As principais barreiras foram a falta de avaliação e feedback sobre implementações bem-sucedidas do BIM, desconhecimento das capacidades/benefícios do BIM, escassez de profissionais capacitados em BIM, cooperação fraca na adoção do BIM pelas restantes partes interessadas, resistência à mudança e a falta de apoio e conhecimento da alta administração.

1. Introdução

A indústria da construção é um setor vital da economia global e desempenha um papel significativo no crescimento e desenvolvimento dos países, gerando aproximadamente 9% do PIB da União Europeia (UE) e empregando 18 milhões de pessoas [1]. Em Portugal, contribui com 6,2% do emprego e cerca de 5% do PIB [2]. Apesar da sua importância, a indústria sofreu poucas alterações e viu um crescimento de produtividade diminuto [3], o que significa que os problemas tipicamente associados com esta indústria como atrasos e excedência de orçamentos persistem, sendo muitas vezes atribuídos a gestão deficiente e falta de inovação [4]. Adicionalmente, a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é um setor com investimentos em pesquisa e desenvolvimento significativamente inferiores a outras indústrias [5], pelo que colmatar esta diferença poderá ajudar a abordar o déficit de produtividade, assim como fornecer soluções para os problemas supracitados. Neste sentido, novas tecnologias como a Modelação da Informação da Construção ou *Building Information Modelling* (BIM) estão a ser estudadas [6].

O BIM é uma tecnologia e processo que providencia um ambiente digital colaborativo, incorporando todas as informações relevantes de um projeto num modelo, acessível na *cloud* a todas as partes interessadas [7]. Esta tecnologia fornece soluções para vários problemas da indústria da construção e já foi implementada em alguns países como o Reino Unido, Finlândia e Suécia [8]. Em Portugal, a implementação do BIM ainda não atingiu níveis significativos, apesar dos possíveis benefícios [9]. Este estudo visa identificar as principais barreiras à implementação do BIM na indústria da construção portuguesa e entender as suas inter-relações hierárquicas.

2. Revisão da literatura

Uma extensa revisão da literatura foi realizada de forma a reunir as barreiras à implementação do BIM mais frequentemente mencionadas em estudos similares. Na Tabela 1 estão mencionados alguns dos estudos consultados (a lista completa pode ser consultada em [10]).

Tabela 1 – Estudos de barreiras à implementação do BIM, metodologia e principais barreiras.

Autor, país	Metodologia	Principais Barreiras
Gu e London (2010), Austrália	<i>Focus Group</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Práticas e processos de trabalho: organização, gestão, validação e integridade de dados, dados conforme construído. • Questões técnicas: padrões, registo de comunicação, segurança. • Outros desafios: papéis, responsabilidades, apoio à formação.
C. W. Chan (2014), Hong Kong	Revisão da literatura e questionário	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de pessoal qualificado para realizar tarefas relacionadas com o BIM. • Falta de formação/treino. • Falta de padrões.
Olawumi et al. (2018), oito países diferentes	Inquérito Delphi	<ul style="list-style-type: none"> • Resistência à mudança da indústria de métodos tradicionais. • Período extenso de adaptação a tecnologias inovadoras. • Falta de compreensão dos processos e metodologias necessários para o BIM e sustentabilidade. • Falta de iniciativa e hesitação em relação a futuros investimentos.
G. Ma et al (2019), China	Modelo ISM e análise MICMAC	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de liderança. • Falta de funcionalidade do software. • Apoio financeiro insuficiente. • Falta de apoio e respeito. • Complexidade. • Baixa interoperabilidade e compatibilidade.
Farooq et al. (2020), Paquistão	Revisão da literatura, questionário, ISM e MICMAC	<ul style="list-style-type: none"> • Custo inicial elevado. • Métodos atuais são suficientes. • Falha de comunicação dentro da organização.

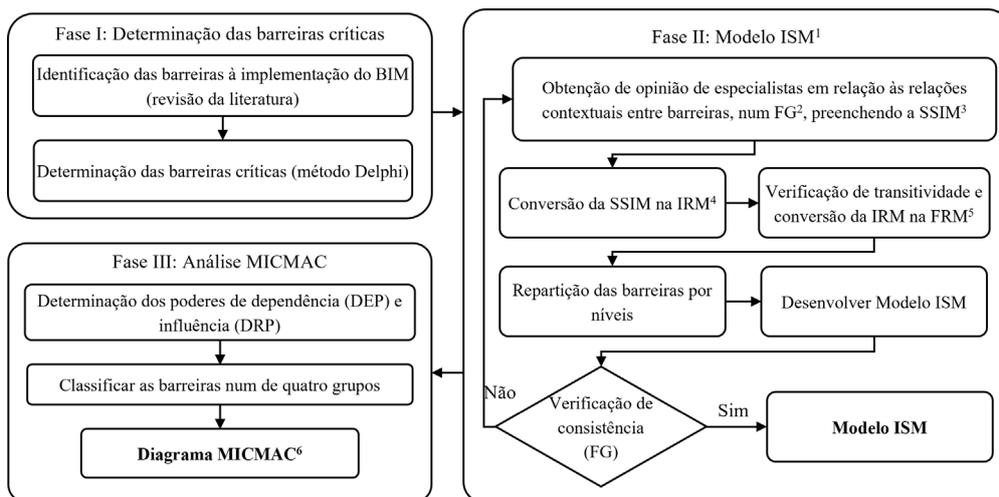
Ao analisar a literatura sobre as barreiras à implementação do BIM, a maioria dos estudos apenas identifica e classifica as barreiras de acordo com sua importância, sem fornecer uma análise aprofundada das suas inter-relações e hierarquia. Apesar da publicação de vários estudos que se focam nas barreiras à implementação do BIM, não foi encontrado nenhum estudo sobre as barreiras à implementação do BIM em Portugal.

3. Metodologia

Neste estudo foi adotada uma metodologia do tipo *Mixed Methods Research* (MMR), onde se combinam métodos quantitativos, como a metodologia ISM (*Interpretive Structural Modelling*) [15] e MICMAC (*Impact Matrix Cross-Reference Multiplication Applied to a Classification*) [16]; e qualitativos como o inquérito Delphi [17] e *Focus Group* [18].

A combinação da metodologia ISM com a análise MICMAC, permite a compreensão das inter-relações e hierarquias complexas das barreiras à implementação do BIM, bem como estas são influenciadas e influenciam outras. Assim, a metodologia deste estudo tem as três fases descritas na Figura 1.

Figura 1
Metodologia do estudo.



Notas: ¹ Interpretive Structural Modelling; ² Focus Group; ³ Structural Self Intersection Matrix; ⁴ Initial Reachability Matrix; ⁵ Final Reachability Matrix; ⁶ Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliqués à un Classement

3.1. Inquérito Delphi e Focus Group

O Inquérito Delphi é uma técnica de tomada de decisão para obter um consenso de um grupo de especialistas por meio de uma série de rondas de um questionário estruturado [19]. Este método permite que os especialistas comuniquem os seus conhecimentos e opiniões relativas a um tópico complexo de forma anónima, tendo de seguida oportunidade de perceber como as suas visões se alinham com as dos restantes participantes e, se assim o desejarem, alterar as suas respostas. Neste estudo, o painel de especialistas foi composto por três académicos de Engenharia Civil com mais de 15 anos de experiência e nove profissionais com mais de 10 anos de experiência na indústria da construção, com distribuição igual entre entidades privadas e públicas. Este painel de especialistas possui um conhecimento extensivo sobre BIM e reflete uma ampla variedade de visões e perspetivas, com o objetivo de promover uma troca de ideias e perspetivas.

O *Focus Group* (FG) é uma abordagem exploratória por natureza, que coleta dados qualitativos por meio da discussão do grupo, facilitada por um moderador [18]. Os FG encorajam discussão entre peritos, acerca das suas perceções, crenças, opiniões e atitudes em relação a um produto, conceito ou teoria. Neste estudo, oito dos especialistas que participaram no inquérito Delphi foram convidados a participar no FG onde se definiram as relações entre as barreiras à implementação do BIM, para ponto de partida do modelo ISM.

3.2. Modelo ISM e Análise MICMAC

O modelo ISM é um procedimento de aprendizagem em grupo suportado por computador, utilizada para analisar as relações entre variáveis de sistemas complexos e dinâmicos [15]. Este modelo traduz modelos mentais em sistemas observáveis, ampliando a compreensão das variáveis ao definir inter-relações e hierarquias. Neste

estudo, o desenvolvimento do modelo ISM segue as seis etapas bem definidas na literatura [20].

A análise MICMAC [21] baseia-se nas propriedades de multiplicação de matrizes para distribuir e compreender um conjunto de variáveis do sistema conforme o seu *driving power* (DRP) ou poder de influência e o seu *dependence power* (DEP) ou poder de dependência. O DRP indica a capacidade da barreira de influenciar outra, enquanto que o DEP indica o quanto essa barreira é influenciada por outras. Desta análise, resulta um diagrama DRP-DEP, agrupando as barreiras num de quatro grupos: Independente (DRP forte e DEP fraco), Ligação (DRP forte e DEP forte), Dependente (DRP fraco e DEP forte) e Autónomo (DRP fraco e DEP fraco).

4. Resultados

A obtenção de resultados segue as 3 fases mencionadas na metodologia do estudo (Figura 1).

4.1. Fase I: Determinação das barreiras críticas para a implementação do BIM

O ponto de partida para este estudo foi a realização de uma revisão da literatura, abrangendo os estudos das barreiras à implementação do BIM. Após a fusão de barreiras semelhantes e adaptação ao contexto português por três académicos com conhecimento em BIM, foram selecionadas 28 barreiras (Tabela 2), divididas em cinco grupos: Tecnológico, Custo, Organizacional, Ambiente Externo e Legal.

Para a determinação das barreiras críticas, os especialistas receberam um email explicativo sobre os objetivos do estudo e a lista de barreiras recolhida da literatura. Após esclarecimentos, realizaram-se três rondas do inquérito Delphi, onde os especialistas pontuaram as 28 barreiras da Tabela 2 numa escala de 1 a 7, onde “7” significa que a barreira é extremamente crítica à implementação do BIM, “4” é crítica, e “1” ligeiramente ou nada crítica à implementação do BIM [22]. Após cada ronda, a média geométrica foi calculada. A média geométrica foi escolhida para evitar o impacto de valores extremos. Barreiras com uma média geométrica maior ou igual a 5 foram consideradas críticas [22]. No final da primeira ronda, nove barreiras foram consideradas críticas. De seguida, na segunda ronda, os especialistas foram informados dos resultados da primeira ronda e foi-lhes pedido que voltassem a classificar as barreiras, obtendo 15 barreiras críticas. Na terceira ronda, o mesmo procedimento foi seguido, onde se obteve um consenso entre especialistas, mantendo as mesmas 15 barreiras como críticas (em negrito na Tabela 2). Doravante as barreiras críticas serão designadas por barreiras, por simplicidade.

Tabela 2 – Lista de barreiras à implementação do BIM.

N.	Barreira	Categoria
1	Falta de funcionalidades das ferramentas BIM	
2	Complexidade das ferramentas BIM	
3	Riscos relacionados ao projeto BIM e possíveis defeitos de engenharia e informação	Tecnológica
4	Imaturidade da tecnologia BIM	
5	Dificuldades de interoperabilidade do software	
6	Custo de aquisição de software (B1)	
7	Investimento em TI necessário para a transição para o BIM (B2)	Custo
8	Investimento de tempo e capital em formação (B3)	
9	Mudança nos métodos de trabalho necessária (B4)	
10	Falta de padrões BIM e estratégias de implementação (B5)	
11	Falta de apoio e conhecimento da alta administração (B6)	
12	Necessidade de reestruturação corporativa (B7)	
13	Falta de protocolos de comunicação interna	Organiza- cional
14	Métodos atuais fornecem resultados satisfatórios	
15	Cooperação fraca na adoção do BIM pelas restantes partes interessadas (B8)	
16	Falta de estrutura de TI na empresa	
17	Falta de experiência dentro da empresa para implementação do BIM (B9)	
18	Cooperação fraca de outros parceiros da indústria	
19	Resistência à mudança (B10)	
20	Falta de formações de BIM disponíveis	
21	Escassez de profissionais capacitados em BIM (B11)	
22	Falta de interesse/demanda do cliente	Ambiente Externo
23	Desconhecimento das capacidades/benefícios do BIM (B12)	
24	Falta de avaliação e feedback sobre implementações bem-sucedidas do BIM (B13)	
25	Natureza fragmentada da indústria da construção (B14)	
26	Questões relacionadas à posse e direitos dos dados do BIM.	
27	Falta de regulamentação governamental (B15)	Legal
28	Preocupações relacionadas à estrutura de segurança e seguros do BIM.	

4.2. Fase II – Modelo ISM

A metodologia ISM começa por estabelecer as relações entre barreiras. Isto foi feito num FG, onde os especialistas classificaram as relações entre barreiras com a seguinte notação [13]: V – a barreira i influencia a j ; A – a barreira j influencia a i ; X – as barreiras i e j influenciam-se mutuamente; O – as barreiras i e j não se influenciam. Estes resultados foram organizados numa matriz triangular, resultando na *Structural Self Intersection Matrix* (SSIM) (Tabela 3).

De seguida, estes valores foram então convertidos em binário, dando origem à *Initial Reachability Matrix* (IRM), sendo depois identificadas todas as relações de transitividade com um “1*”, isto é, se a barreira i influencia a barreira j , e a barreira j influencia a barreira k , então a barreira i influencia a barreira k . Com isto, obteve-se a *Final Reachability Matrix* (FRM) (Tabela 4). Adicionalmente, o DRP e DEP de cada barreira foram também determinados, sendo o primeiro a soma da respetiva linha, e o segundo a soma da respetiva coluna.

Tabela 3 – *Structural Self Intersection Matrix (SSIM)*

CB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		V	O	O	O	A	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2			O	O	O	A	O	A	O	O	O	A	O	O	O
3				A	A	A	O	O	A	O	A	O	O	O	O
4					A	A	X	O	A	A	O	O	O	A	O
5						O	V	A	O	O	A	O	A	A	A
6							V	O	O	V	O	A	A	O	O
7								A	A	A	O	O	A	A	O
8									A	A	A	O	O	A	O
9										O	A	O	O	O	O
10											O	A	A	O	O
11												O	O	O	O
12													A	O	O
13														O	O
14															O
15															O

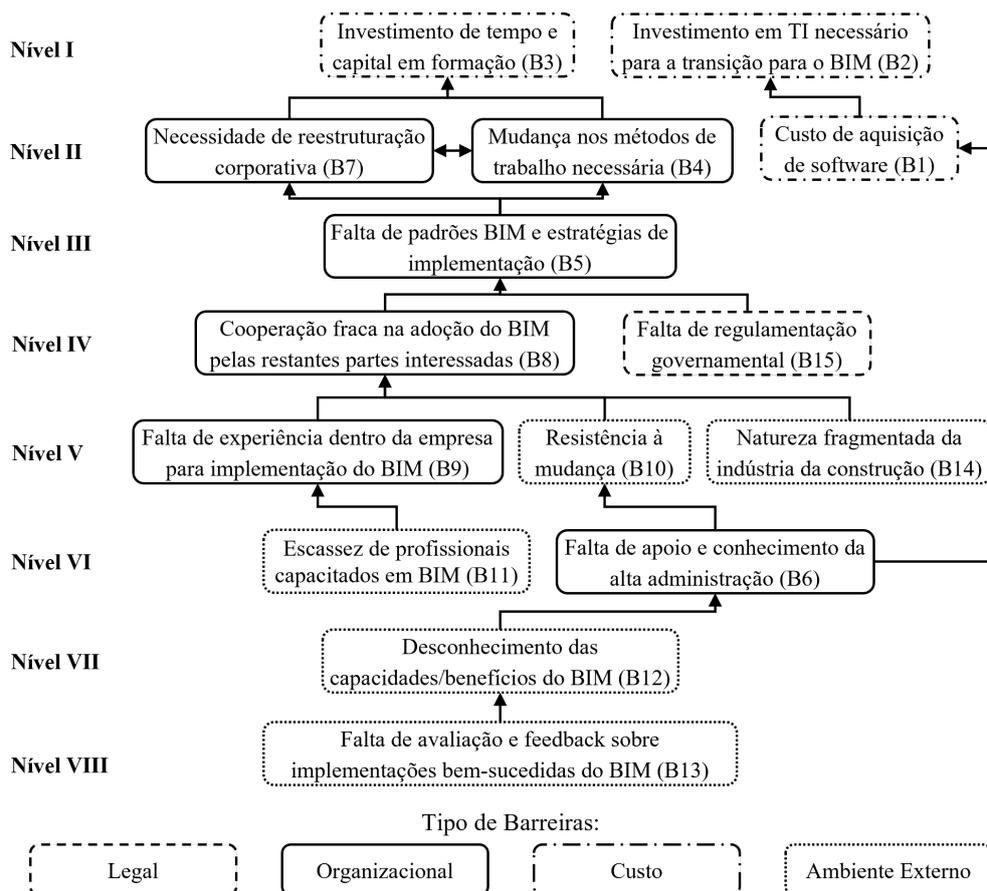
O próximo passo à criação do modelo ISM é a repartição das barreiras por níveis hierárquicos, onde se definem os conjuntos alcançabilidade (conjunto de barreiras influenciadas pela barreira i), antecedente (conjunto de barreiras que influenciam a barreira i) e interseção (conjunto de barreiras comuns aos dois conjuntos anteriores), obtendo-se assim, oito níveis [15].

Uma versão inicial do modelo ISM foi criada organizando verticalmente as barreiras de acordo com o seu nível hierárquico, ligando-as de acordo com a FRM, eliminando-se as ligações indiretas, obtendo-se assim, o modelo ISM. Por fim, foi pedido aos especialistas presentes no FG que verificassem se o modelo obtido correspondia ao “modelo mental” que tinham sobre as relações entre as barreiras. Os especialistas concordaram, e o modelo ISM ficou determinado (Figura 2). De acordo com o modelo, a maior barreira à implementação do BIM em Portugal é a falta de avaliação e feedback sobre a implementações bem-sucedidas do BIM (B13), uma vez que se encontra no nível hierárquico superior. As barreiras B11, B14 e B15, apesar de não estarem no nível superior, também requerem especial atenção por não terem barreiras precedentes, isto é, não são influenciadas pelas restantes barreiras.

Tabela 4 – Final Reachability Matrix (FRM)

CB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	DRP
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
6	1	1	1	1	1*	1	1	1*	0	1	0	0	0	0	0	9
7	0	0	1*	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
8	0	1	1*	1*	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
9	0	1*	1	1	1*	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	7
10	0	1*	1*	1	1*	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	7
11	0	1*	1	1*	1	0	1*	1	1	0	1	0	0	0	0	8
12	1*	1	1*	1*	1*	1	1*	1*	0	1	0	1	0	0	0	10
13	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1*	0	1	0	1	1	0	0	11
14	0	1*	1*	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	7
15	0	0	1*	1*	1	0	1*	0	0	0	0	0	0	0	1	5
DEP	6	10	13	12	10	3	12	8	2	4	1	2	1	1	1	

Figura 2
Modelo ISM das barreiras à implementação do BIM em Portugal.



4.3. Fase III – Análise MICMAC

A análise MICMAC foi utilizada para classificar e entender as barreiras à implementação do BIM, de acordo com os seus DRP e DEP calculados na Tabela 4. Estes valores foram traçados no gráfico da Figura 3, onde cada barreira foi colocada num dos quatro grupos. Como é visível na Figura 3, o grupo Ligação ficou vazio o que não é incomum na literatura [20]. De seguida, no grupo Autónomo ficaram as barreiras B1 e B15. Estas barreiras são barreiras com DRP e DEP baixo, o que significa que estão algo desconectadas do sistema.

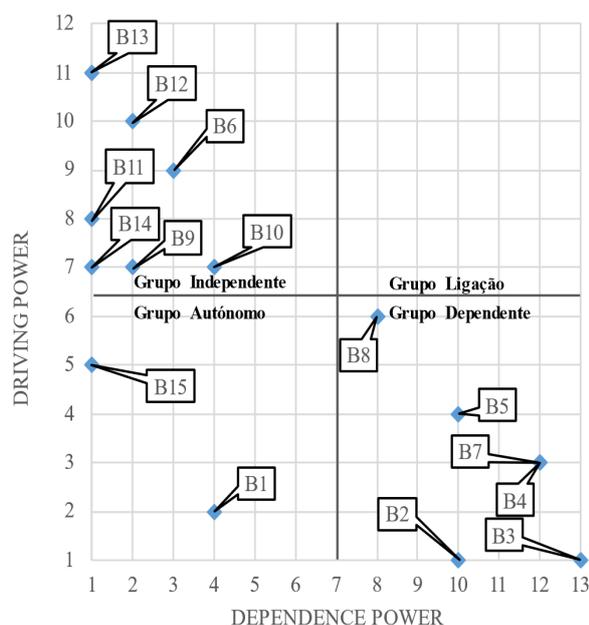


Figura 3
Diagrama MICMAC.

No grupo Dependente ficaram as barreiras B2, B3, B4, B5, B7 e B8. Estas barreiras têm DRP baixo e DEP elevado, o que significa que são fortemente influenciadas pelo sistema, mas a sua influência nas restantes barreiras é diminuta.

Por último, no grupo Independente, ficaram as barreiras B6, B9, B10, B11, B12 e B13. Estas barreiras têm um DRP alto e DEP baixo, o que significa que influenciam as restantes barreiras, mas não são praticamente afetadas por elas. De acordo com a análise MICMAC, estas sete barreiras são as principais barreiras à implementação do BIM em Portugal.

4.4. Discussão dos resultados

Combinando a barreira do topo do modelo ISM, com as barreiras do grupo Independente da análise MICMAC, é possível estabelecer as principais barreiras à implementação do BIM em Portugal. No entanto, para o desenvolvimento de medidas de mitigação que atuam sobre o sistema, também é necessário considerar as barreiras do grupo Autónomo, por terem um DEP baixo, significando que não serão afetadas

por medidas desenvolvidas para as restantes barreiras. Assim, as principais barreiras à implementação do BIM em Portugal são a falta de avaliação e feedback sobre implementações bem-sucedidas do BIM (B13); o desconhecimento das capacidades/benefícios do BIM (B12); a falta de apoio e conhecimento da alta administração (B6); a escassez de profissionais capacitados em BIM (B11); a natureza fragmentada da indústria da construção (B14); a falta de experiência dentro da empresa para implementação do BIM (B9); a resistência à mudança (B10); a falta de regulamentação governamental (B15) e o custo de aquisição de software (B1).

5. Conclusão

Este estudo pretende identificar as principais à implementação do BIM em Portugal, com base nas relações hierárquicas entre elas e o seu poder de influência (DRP) e dependência (DEP). Da literatura, foram extraídas 28 barreiras para a implementação do BIM, sendo depois utilizadas num inquérito Delphi, onde 15 barreiras foram identificadas como críticas. De seguida, estas barreiras foram utilizadas para elaborar o modelo ISM e análise MICMAC, com recurso a um FG. Finalmente, combinando os resultados de ambos os métodos, definiu-se o conjunto das principais barreiras à implementação do BIM em Portugal.

Com base nestas barreiras, o próximo passo seria definir medidas de mitigação. Estas medidas deverão ser desenvolvidas com base no modelo ISM e tirando partido das relações de dependência entre barreiras. Adicionalmente, deverão ser desenvolvidas de forma que atuem sobre múltiplas barreiras, e ao mesmo tempo, atuando sobre barreiras hierarquicamente inferiores. Por último, deverá ser analisada a necessidade de desenvolvimento de medidas específicas para as barreiras do grupo Autónomo, uma vez que estas não são pouco ou nada influenciadas pelo sistema de barreiras, o que significa que requerem medidas direcionadas

Este trabalho contribuiu para o corpo de conhecimento do BIM, uma vez que não existia nenhuma investigação do ponto de vista da indústria de construção portuguesa nas barreiras a adotar esta tecnologia. Adicionalmente, as conclusões deste estudo tanto informam a indústria das características, benefícios e barreiras esperadas aquando da implementação do BIM, bem como permitem, num estudo futuro desenvolver medidas de mitigação.

Apesar das suas contribuições, este estudo também tem as suas limitações. Primeiramente, estes resultados poderão não ser aplicáveis a outras geografias. Adicionalmente, como o ponto de partida para o estudo foi uma revisão da literatura das barreiras à implementação do BIM, barreiras mais recentes ainda não abordadas na literatura poderão não ter sido consideradas, bem como barreiras específicas ao caso português. No entanto, isto foi minimizado permitindo que os especialistas façam comentários durante o inquérito Delphi.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos especialistas pela participação nas entrevistas dos Focus Group. Esta investigação foi patrocinada por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) com a referência UIDB/04625/2020.

Referências

- [1] EU BIM Task Group, «Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector», 2017.
- [2] IMPIC, «RELATÓRIO DO SETOR DA CONSTRUÇÃO EM PORTUGAL 2021 1.º Semestre», 2021.
- [3] F. Barbosa *et al.*, «REINVENTING CONSTRUCTION: A ROUTE TO HIGHER PRODUCTIVITY», 2017. Acedido: 14 de Setembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <http://dln.jaipuria.ac.in:8080/jspui/bitstream/123456789/2898/1/MGI-Reinventing-Construction-Full-report.pdf>
- [4] Y.J. T. Zidane e B. Andersen, «The top 10 universal delay factors in construction projects», *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 11, n. 3, pp. 650-672, Mai. 2018, doi: 10.1108/IJMPB-05-2017-0052.
- [5] G. Seaden e A. Manseau, «Public policy and construction innovation», *Building Research and Information*, vol. 29, n. 3, pp. 182-196, Mai. 2001, doi: 10.1080/09613210010027701.
- [6] A.B.Saka e D.W.M.Chan, «Knowledge, skills and functionalities requirements for quantity surveyors in building information modelling (BIM) work environment: an international Delphi study», *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 16, n. 3, pp. 227-246, Mai. 2019, doi: 10.1080/17452007.2019.1651247.
- [7] N. Gu e K. London, «Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry», *Autom Constr*, vol. 19, n. 8, pp. 988-999, Dez. 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2010.09.002.
- [8] C. Panteli *et al.*, «Overview of BIM integration into the Construction Sector in European Member States and European Union Acquis», em *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/410/1/012073.
- [9] M. Kassem e B. Succar, «Macro BIM adoption: Comparative market analysis», *Autom Constr*, vol. 81, pp. 286-299, Set. 2017, doi: 10.1016/j.autcon.2017.04.005.
- [10] M. Pereira Lourenço, A. José Martins Arantes, e A. Morais Aguiar da Costa, «Barriers to BIM (Building Information Modelling) Implementation in the Portuguese Construction Industry Committee», Instituto Superior Técnico, Lisbon, 2023.

- [11] C. T. W. Chan, «Barriers of Implementing BIM in Construction Industry from the Designers' Perspective: A Hong Kong Experience», *Journal of System and Management Sciences*, vol. 4, n. 2, pp. 1818-0523, 2014.
- [12] T. O. Olawumi e D. W. M. Chan, «Identifying and prioritizing the benefits of integrating BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts», *Sustain Cities Soc*, vol. 40, pp. 16-27, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.03.033.
- [13] G. Ma, J. Jia, J. Ding, S. Shang, e S. Jiang, «Interpretive structural model based factor analysis of BIM adoption in Chinese construction organizations», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, n. 7, Abr. 2019, doi: 10.3390/su11071982.
- [14] U. Farooq, S. K. Ur Rehman, M. F. Javed, M. Jameel, F. Aslam, e R. Alyousef, «Investigating BIM implementation barriers and issues in Pakistan using ISM approach», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, n. 20, pp. 1-21, Out. 2020, doi: 10.3390/app10207250.
- [15] Sushil, «Interpreting the interpretive structural model», *Global Journal of Flexible Systems Management*, vol. 13, n. 2, pp. 87-106, 2012, doi: 10.1007/S40171-012-0008-3.
- [16] J.-C. Duperrin e M. Godet, «Méthode de hiérarchisation des éléments d'un système: essai de prospective du système de l'énergie nucléaire dans son contexte societal», Dez. 1973.
- [17] T. J. Gordon e I. History, «The Delphi Method», 1994.
- [18] D. L. Morgan, «Focus Groups», 1996. [Em linha]. Disponível em: www.annualreviews.org
- [19] R. D. Needham e R. C. De Loë, «The Policy Delphi: Purpose, Structure, and Application», *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 34, n. 2, pp. 133-142, 1990, doi: 10.1111/j.1541-0064.1990.tb01258.x.
- [20] A. M. Ribeiro, A. Arantes, e C. O. Cruz, «Barriers to the Adoption of Modular Construction in Portugal: An Interpretive Structural Modeling Approach», *Buildings*, vol. 12, n. 10, Out. 2022, doi: 10.3390/buildings12101509.
- [21] J. N. Warfield, «Developing Subsystem Matrices in Structural Modeling», 1974.
- [22] S. Ambekar, D. Roy, A. Hiray, A. Prakash, e V. S. Patyal, «Barriers to adoption of reverse logistics: a case of construction, real estate, infrastructure and project (CRIP) sectors», *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, n. 7, pp. 2878-2902, Ago. 2022, doi: 10.1108/ECAM-02-2021-0112.

Adoção BIM no setor público – O caso do projeto Liga BIM Prefeituras SC

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.32>

Kesia Silva¹, Rogério Lima², José Carlos Lino³

¹ *Conexão BIM, Brasil, kesia@alvesespindola.com*

² *Consultor BIM, Brasil, rlimaaraq@gmail.com*

³ *Consultores BIM, Brasil, jclino@consultoresbim.com.br*

Resumo

O BIM é a chave para gestão mais eficiente e sustentável das edificações e infraestruturas urbanas. O Brasil possui atualmente diversas legislações que estimulam a adoção do BIM, porém não possui um estratégia local que possa atender as diversas características e especificidades dos 5.568 municípios existentes e 2 distritos. O Projeto Liga BIM Prefeituras em Santa Catarina, visa capacitar as prefeituras para implementar o BIM, com o direcionamento de que elas sejam contratantes e demandantes de projetos. Este projeto é fruto da colaboração entre instituições governamentais, acadêmicas e o setor privado e segue uma abordagem estruturada nomeadamente: desenvolvimento de eventos itinerantes, presenciais e on-line, com a participação central das associações de municípios, com sensibilizações, casos de estudo e a oferta de diagnóstico personalizado para cada município; divulgação de treinamentos específicos para os profissionais envolvidos nos processos de especificação, contratação e gerenciamento de projetos; e estímulo para criação de normativas locais para a utilização do BIM nos processos municipais, sendo a associação do município, peça chave nesse processo.

Com este trabalho, pretende-se criar um referencial local, tendo em vista que poucos municípios iniciaram a adoção de BIM, contribuindo para uma aceleração da macro adoção do BIM no Brasil.

1. Introdução

Com o avanço da digitalização da construção civil, cada vez há menos dúvidas que é necessária e urgente a adoção de tecnologias nos projetos e obras de construção civil. Os benefícios da adoção do BIM (Building Information Modelling) já são conhecidos e amplamente divulgados e citado em leis [1], sobretudo os benefícios para o setor público, tenha-se em conta a citação no texto base da nova lei de licitações [2]. Também se encontra amplamente evidenciado que, com o uso do BIM, se ganha tempo nos projetos e obras, se reduzem os aditivos e se aumenta a transparência nos processos de concurso, entre outros benefícios [3].

Porém a implementação BIM requer passos planejados e estratégicos, tendo em vista que gera uma mudança de cultura nas organizações, criando um impacto na forma como as pessoas trabalham, nomeadamente na gestão, na comunicação, na gestão da mudança e na execução e controle de projetos e obras.

No setor público, esse impacto é ainda maior, tendo em vista as características de muitas companhias públicas.

O caso em questão foi aplicado no Brasil onde existem 5568 municípios e 2 distritos (Distrito Federal e Fernando de Noronha), distribuídos em 27 unidades federativas.

Entre as diversas ações que vêm sendo executadas e disseminadas, está a estratégia BIM BR [3], que foi publicada no ano de 2018. Ela aponta para 9 principais objetivos que são almeçados pelo Governo Federal e aponta ações a nível nacional para as atingir.

Porém, as características regionais do Brasil, a sua extensão continental e a independência das ações entre estados e municípios, nomeadamente, cada um deles possuir legislação própria para aprovar projetos e ter as suas particularidades e desafios estruturais, tornam este desafio, de disseminação do BIM, uma ação ainda mais complexa.

Por isso, entende-se ser de extrema importância uma estratégia de adoção regional. Para auxiliar na comunicação e divulgação entre os entes públicos, a Conexão BIM, em parceria com o Prof. Rogério Lima, criou o projeto liga BIM prefeituras. Com encontros on-line, onde são disseminados os principais casos e ações para ajudar os municípios, o projeto tem alcançado proporções nacionais e até mesmo internacionais.

E para estreitar ainda mais esta comunicação, foi desenvolvido o projeto Liga BIM prefeituras SC, com o apoio e patrocínio do CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Santa Catarina e diversas entidades locais, realizando encontros presenciais, através da articulação com diversas entidades e profissionais envolvidas.

O trabalho aqui apresentado, tem por objetivo fazer um breve resumo das ações desse projeto, os seus resultados e quais as possíveis ações que poderão ser planejadas a partir das conclusões encontradas.

2. Resumo do projeto

O projeto liga BIM nas Prefeituras é realizado desde 2021, através de encontros on-line, gratuitos, sempre com um convidado que trata de assuntos ou cases relacionados com o setor público, sendo transmitidos através das plataformas de *streaming* e posteriormente divulgados no canal do YouTube da Conexão BIM, para partilhar gratuitamente conhecimento, materiais, oportunidades, gerando muito *networking* e apoiando sobretudo os pequenos municípios.

A partir da análise disponível nos sites oficiais do governo brasileiro, é possível encontrar a classificação dos municípios brasileiros relativos à sua população, conforme a tabela 1:

Tabela 1: Classificação relativa à sua população – Fonte: IBGE

Classificação	Habitantes		
Pequeno I	0	até	20.000
Pequeno II	20.001	até	50.000
Médio	50.001	até	100.000
Grande	100.001	até	900.000
Metrópole	acima	de	900.001

A tabela 2 apresenta a sua classificação tendo em consideração o percentual dos municípios entre o total de municípios brasileiros.

Tabela 2: percentual de municípios classificados, em relação à sua população – Fonte: IBGE

Tipo	Quantidade de Municípios	%
Metrópole	17	0,3%
Grande	266	4,8%
Médio	325	5,8%
Pequeno II	1043	18,7%
Pequeno I	3919	70,4%
Total	5570	

O gráfico apresentado na figura 1, apresenta os dados da tabela 2.

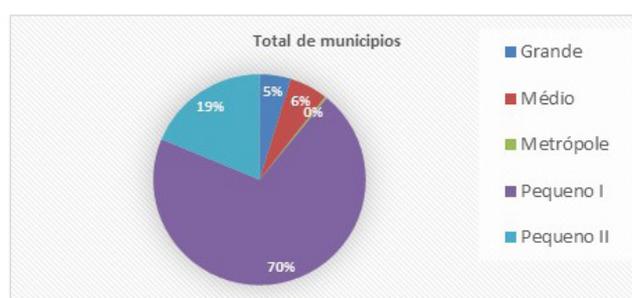


Figura 1
Gráfico geral dos municípios brasileiros e a classificação relativa a sua população.

Fonte: IBGE

Analisando os dados, fica clara a necessidade de criar uma estratégia que possa atender inicialmente os municípios de pequeno porte, que atendem até 50.000 habitantes, que representam aproximadamente 89% do total.

Dessa forma, iniciaram-se os encontros on-line, para ouvir de forma aberta as dificuldades dos agentes públicos, compartilhar casos e materiais já produzidos, gerando assim uma rede de apoio e um canal de comunicação direto e gratuito.

Foram realizados 28 encontros com os mais diversos temas. Na tabela 3 é apresentado o resumo dos principais assuntos abordados separado por bloco de cada ano de realização do projeto.

Tabela 3: Resumo dos 3 anos de encontros liga BIM

Tema	N.º do Encontro	Convidado(s)
2021		
Dificuldades encontradas para a adoção do BIM e soluções	1	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Consultorias BIM e exemplos de implementação	2	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Estratégias publicadas por órgãos públicos	3	Rafael Fernandes
Dúvidas e debates sobre adoção e implementação do BIM em órgãos públicos	4	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Termos de Referências	5	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Level of development (LOD's)	6	Marcos Romano
Principais demandas e dificuldades dos municípios	7	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
2022		
Como uma prefeitura deve começar a adoção do BIM	1	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Contratações no ambiente público	2	Rodrigues Lopes
Condições financeiras e investimentos dos órgãos públicos	3	Marcos Romano
Termos de referência para contratação de consultoria e projetos em BIM	4	Hamilton Bonatto
Open BIM e open source	5	Carlos Dias
Precificação de projetos para prefeituras	6	Vilberly Vasconcelos
Experiência da Câmara de Lisboa com relação a adoção do BIM	7	Célia Penedo
Explicação do projeto PROJETAR-SE	8	Caroline Cabral

Tema	N.º do Encontro	Convidado(s)
2021		
Dificuldades encontradas para a adoção do BIM e soluções	1	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Expectativas da consultoria em Joinville	9	Nicolas Cipriano
Demandas das prefeituras e como ajudar	10	Ney da Nóbrega Ribas
Precificação para contratação de projetos BIM	11	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Panorama geral de 2022	12	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Tema	N.º do Encontro	Convidado(s)
2023		
Estratégia BIM de SC	1	Lauren Salla
BIM na Prefeitura de Ipojuca-PE	2	Itálo Guedes
A nova lei de licitações e BIM	3	Camilo Luiz Barros
Viagem à Europa e o projeto da EMEL-Lisboa	4	Késia Alves
A implementação do BIM na prefeitura de Foz do Iguaçu-PR	5	Warley Mendes
Summit Cidades 2023	-	Profissionais que trabalham ou que fornecem serviços para o setor público
Contratação em BIM para o setor público	6	Vitor Calixto
Resumo do Liga BIM Prefeituras – SC	7	Késia Alves
Mapeamento de processos	8	Heron Santos

Para aumentar a capacidade e efetividade da comunicação, foi desenvolvido um sub-projeto chamado liga BIM Prefeituras SC, focando no estado de Santa Catarina, com os mesmos objetivos, porém com encontros presenciais, em locais pré-definidos, através dos mais de 4.400km rodados pelo estado, gerando mais *networking* e mais oportunidades de compartilhamento de informações, quando comparando com os resultados que são possíveis de obter nos encontros on-line.

Foi realizada a 1.ª edição do projeto em Julho de 2023, passando por 6 cidades e, com o sucesso da mesma, em Novembro de 2023, foi realizada a 2.ª edição passando por 5 cidades, seguindo a mesma estratégia.

2.1. Objetivos

Os objetivos principais do projeto Liga BIM Prefeituras SC são:

- Compartilhar casos relevantes que já estão a acontecer no setor público;

- Apresentar uma estratégia de disseminação e de adoção local;
- Capacitar os profissionais do setor público para especificar melhor tecnicamente os projetos que desejam desenvolver ou contratar;
- Capacitar os profissionais do setor público a contratar, receber e fiscalizar projetos, utilizando um ambiente comum de dados;
- Levar ao conhecimento desse público estratégias de adoção [4], diagnósticos de maturidade e sensibilização sobre processos, alternativas para a aquisição de licenças, cadernos já publicados e disponíveis [5] e treinamentos, entre outros.

Os objetivos secundários são:

- A geração de oportunidades;
- O networking mais efetivo;
- A visibilidade que pode ser alcançada pelos municípios divulgadores e até mesmo pelos profissionais envolvidos.

2.2. Principais desafios

Os maiores desafios para realização do projeto foram as distâncias percorridas para cobrir de forma proporcional o estado. O patrocínio do CREA-SC foi extremamente relevante nesse sentido, pois viabilizou a logística e a estruturação dos encontros, gravações, gerando um material que poderá posteriormente ser compartilhado.

A comunicação, a divulgação e a motivação do público alvo, foi um dos pontos importantes e desafiadores para a equipe.

Para superar estes desafios, foram realizadas diversas parcerias para que a comunicação fosse mais efetiva.

A estrutura física onde os encontros foram realizados, foi viabilizada pelo Sebrae – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, ou pelas associações dos municípios parceiros no projeto.

3. Estratégia de trabalho

Santa Catarina possui 295 municípios e 21 associações. Desta forma, a estratégia para percorrer o estado e atingir o maior número de cidades foi contactar as principais associações de municípios, conforme a estratégia de cada edição lançada (Figura 2), através do contato com as associações, chegar até aos demais municípios que a elas são associados.

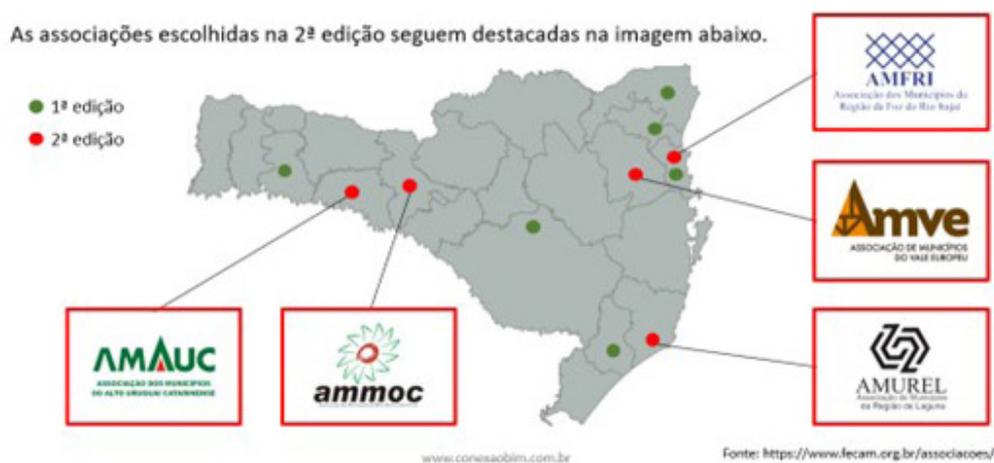


Figura 2
Mapa da localização dos encontros da 1.ª e 2.ª edição.

O projeto foi dividido em macro etapas:

- Definição das associações contempladas;
- Definição das cidades: em cada uma das macro regiões, foi escolhida uma cidade representativa para ser a sede dos encontros;
- Contato com as entidades parceiras: além das associações de municípios, eram identificadas as entidades que poderiam apoiar as ações, como associações de engenheiros, ou associações empresariais;
- Contato com as prefeituras das associações e;
- Divulgação dos encontros.

Os encontros tinham duração de 8h, com temas segmentados num período para o setor público e noutro para o setor privado.

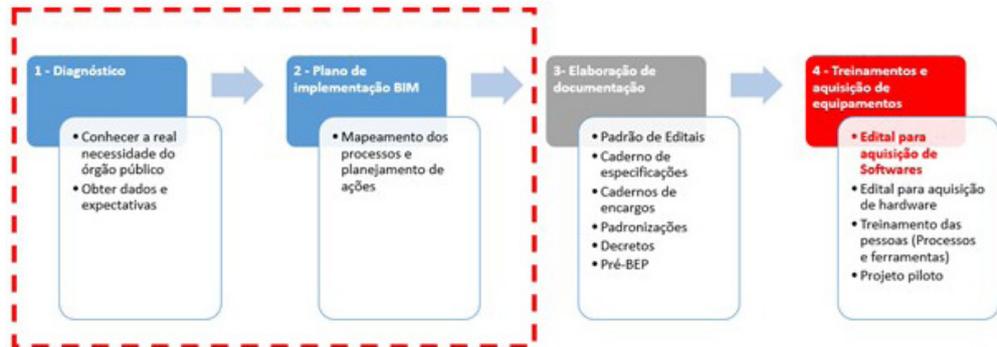
Os assuntos que foram destaques nos encontros foram a estratégia de implementação do BIM nos municípios, contando com o apoio das associações de municípios regionais (Figura 3) e a apresentação da estratégia de implementação detalhada, focando inicialmente numa secretaria, atendendo às quatro etapas (Figura 4).



Figura 3
Estratégia para adoção de BIM nas prefeituras, com o apoio das associações.

Posteriormente, vencida a etapa na primeira secretaria, o processo avança para as demais, usando o primeiro caso como referência e assim fazendo com que o BIM seja implementado em toda a Prefeitura.

Figura 4
Macro fluxo de implementação dentro de uma secretaria.



Os principais encontros foram gravados e realizada ampla divulgação. Após o término dos encontros, todos os participantes receberam certificados e responderam uma pesquisa de satisfação para identificação de possíveis melhorias.

4. Resultados alcançados

Baseado nos objetivos estabelecidos, foram atingidos os seguintes resultados:

- **Objetivo 1:** Compartilhar casos relevantes que já estão acontecendo no setor público.
- **Resultados:** Foram compartilhados os principais casos do estado, sendo os principais relativos à Prefeitura de Criciúma, Prefeitura de Joinville, Prefeitura de Jaraguá do Sul e ações das Associações de Municípios como Amunesc, AMFRI e AMVALI.
- **Objetivo 2:** Apresentar uma estratégia de disseminação e de adoção local
- **Resultados:** Foi apresentada a estratégia de adoção por secretaria, com o apoio da Associações de Municípios, para que posteriormente a implementação possa ser irradiada para as demais secretarias e, por fim, para a Prefeitura como um todo.
- **Objetivo 3:** Ensinar os municípios a especificar melhor tecnicamente os projetos que desejam desenvolver.
- **Resultados:** Foram apresentados modelos de cadernos de especificações [8]. Foi proposto que as Associações de Municípios criem tipologias de projetos adaptáveis para acelerar a produção e atendimento às demandas que sempre são planejadas com prazos extremamente curtos, para atender às necessidades da população.
- **Objetivo 4:** Ensinar os profissionais do setor público a contratar, receber e fiscalizar projetos, utilizando ambiente comum de dados.

- Resultados: Foram fornecidas diretrizes para contratação [6] e disseminados os cadernos e materiais já produzidos por outros municípios. Foram apresentados os principais modelos de documentos que devem ser produzidos a partir da metodologia BIM, as nomenclaturas e significados dos mesmos, levando ao conhecimento importantes referências como BuildingSmart e BIM dictionary [7]. Foi também apresentada a alternativa de licitar projetos, passando a responsabilidade do desenvolvimento do BEP e de aquisição de Ambiente Comum de Dados para a empresa executora dos projetos contratada.
- Objetivo 5: Levar ao conhecimento desse público, estratégias de adoção, diagnósticos de maturidade e sensibilização sobre processos, alternativas para a aquisições licenças, treinamentos e muito mais.
- Resultados: Foi apresentada a alternativa de iniciar o processo de implementação realizando diagnóstico de maturidade, elaboração de plano de implementação, elaboração de documentos técnicos, treinamentos para, somente após esse processo, adquirir licenças dos softwares.

Além destes resultados esperados a partir dos objetivos previamente definidos, foram desenvolvidas diversas parcerias com várias entidades, garantindo a continuidade do projeto para o ano de 2024.

A possibilidade de falar desse projeto, em diversos eventos nacionais e internacionais, foi um resultado que não estava mapeado, mas que também foi atingido.

6. Ações futuras

Com a roteirização criada, será possível apresentar esta estratégia para entidades nacionais, como o MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, o Sebrae Nacional – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresa, a ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial e o CONFEA – Conselho federal de engenharia e agronomia e transformar essa estratégia, numa estratégia municipal, apoiando, dessa forma, municípios de pequeno porte que, não sabendo por onde começar, evitam assim a escolha de caminhos mais dispendiosos e que podem gerar frustrações.

Ainda tal roteirização poderá, ser utilizada na revisão do caderno de guia de implementação BIM e outros materiais, já desenvolvidos, sobretudo o caderno de implementação do governo do estado de SC.

E por fim, acredita-se que este estudo de caso pode auxiliar a trabalhos similares, tais como no estado do Paraná, que elaborou diversos cadernos orientativos e que realizou ciclos de palestras com a jornada BIM PARANÁ, disponível no site: <https://www.bim.pr.gov.br/Pagina/Jornada-BIM-PR>, da Firjan no estado do Rio de Janeiro, que possui ciclo de palestras para disseminar o BIM em empresa e municípios, conforme divulgado em seu site: <https://firjan.com.br/noticias/-rio-construcao-bim-e-apresentado-em-nova-friburgo.htm> IdEditoriaPrincipal=4028818B46EE-B3CD0146FD70E994340B

Outra iniciativa que está em andamento e que acredita-se que servirá de referência e até mesmo poderá utilizar os dados desse trabalho de Santa Catarina, é o estudo de Macro adoção, em escala internacional, que está em fase de elaboração, coordenado pelo Prof. Bilal Succar, que pode ser encontrado o status de evolução no endereço: <https://macroadoption.com>

Muito municípios no Brasil estão começando mobilizações e o que se espera é que este trabalho possa auxiliar a todos que necessitarem.

Agradecimentos

Durante esta jornada, foi possível compreender melhor as necessidades dos agentes públicos, dialogar com as empresas que prestam serviços para estes e ratificar a necessidade de uma ação personalizada e simplificada para cada região. Foi possível conhecer in loco a característica da economia local, assim como determinados aspectos culturais e humanos, que interferem imensamente na adoção de uma metodologia que altera a cultura das pessoas e das organizações.

E tudo isso só foi possível, graças ao apoio de diversas instituições, empresas, associações e conselhos que acreditaram na estratégia e apoiaram de diversas formas, destacando os principais, sendo eles: CREA-SC, a quem destaca-se nomeadamente o seu presidente, Eng.º Kita Xavier, e sua equipe, o CONFEA, a quem destaca-se nomeadamente o seu presidente em exercício, Eng.º Evânio Nicoleit e o SEBRAE SC, a quem destaca-se o gerente de negócios, Filipe Gallotti e analista de negócios Wilson Sanches Rodrigues.

Referências

- [1] GOVERNO FEDERAL – DECRETO 10.306, *Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling*, Brasília, 2020.
- [2] GOVERNO FEDERAL – LEI 14.133, *Lei de Licitações e Contratos Administrativos*, Brasília, 2021.
- [3] C. E. E. S. – M. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, *ESTRATÉGIA BIM BR. Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – BIM*, Brasília, 2018.
- [4] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA – SIE, *Guia de implantação e implementação BIM para órgãos públicos*, Santa Catarina, 2022.
- [5] GOVERNO DO ESTADO DE SANTA CATARINA, *Caderno BIM – Apresentação de Projetos de Edificações em BIM*, Santa Catarina, 2014.
- [6] BIM FORUM BRASIL, *Guias de contratação BIM: diretrizes para licitações BIM: volume 3*, Brasília, 2023.
- [7] BIM DICTIONARY, “BIM Dictionary platform,” [Online]. Available: <https://bim-dictionary.com>. [Accessed 10 dez 2023].
- [8] FUNDAÇÃO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO – FNDE, *Estratégia BIM FNDE*, Brasília, 2023.

Dimensões legislativas da adoção da metodologia BIM em Portugal

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.33>

**Vander Escovalo¹,
Ana Brandão de Vasconcelos², António Cabaço³**

¹ *Universidade Lusófona*

² *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC),
<https://orcid.org/0000-0001-5736-2887>*

³ *Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)*

Resumo

A modelação em BIM possibilita uma melhoria gráfica e funcional na elaboração de projetos face aos métodos ditos tradicionais. No entanto, a ausência de normas nacionais que regulamentem o BIM é uma das barreiras para uma maior e melhor utilização desse modelo de informação. Assim, considera-se importante desenvolver esforços para adaptar a legislação nacional ao contexto da metodologia BIM, assim como aos novos intervenientes e às novas atribuições que os principais intervenientes no ciclo de vida do empreendimento passarão a ter.

A presente comunicação tem como objetivo identificar normas internacionais relevantes para o estabelecimento de conteúdos técnicos a adotar na elaboração e no faseamento de projetos com recurso à metodologia BIM, quais as dificuldades que podem ser encontradas na sua adaptação ao contexto nacional e quais os principais impactos do BIM nos procedimentos atuais. Neste âmbito, são analisadas com maior detalhe a série de normas ISO 19650, a ISO 12006, a ISO 17412, a ISO 29481, a Portaria n.º 255/2023, de 7 de agosto, e o Decreto-Lei n.º 40/2015, de 1 de junho.

1. Introdução

Os processos de gestão de projetos de construção têm melhorado nos últimos anos devido ao crescimento da indústria da engenharia arquitetónica e da construção e ao rápido desenvolvimento das tecnologias digitais [1].

Entretanto, a Modelação da Informação da Construção (BIM), tem-se tornado uma parte indispensável deste processo, devido às vantagens que oferece em termos de comunicação e coordenação de projetos [1].

Além disso, com a utilização da metodologia BIM, aumentam as oportunidades de interoperabilidade e colaboração, reduzem-se as perdas de informação e melhora-se a eficiência dos processos, proporcionando ganhos em termos de tempo e de custos. Porém, embora a adoção de metodologia BIM a nível nacional traga benefícios, também traz impactos em toda a legislação aplicada à construção, uma vez que a mesma tem de ser adaptada às novas atribuições que os principais intervenientes no ciclo de vida de um empreendimento tem e ao facto de termos um modelo que vai transitando e evoluindo em todas as fases de projeto [1].

Importa referir que a nível nacional existem varias iniciativas legislativas para a adoção da metodologia BIM, tais como a Portaria n.º 255/2023, de 7 de agosto, que é o documento que “aprova o conteúdo obrigatório do projeto de execução, bem como os procedimentos e normas a adotar na elaboração e faseamento de projeto de obras publicas” e revoga a Portaria n.º 701-H/2008 [2]. Porém, depois de analisar a Portaria n.º 255/2023, foi possível constatar que embora a Portaria n.º 255/2023 venha substituir a Portaria n.º 701-H/2008, introduzindo pela primeira vez o termo BIM, a introdução de metodologia BIM na Portaria é incipiente e sem muitos reflexos e desenvolvimentos ao longo do documento de um modo geral. A Portaria ainda remete muito para o processo tradicional em que a troca de informação é em papel e não contempla muitos dos conteúdos e dos conceitos ligados ao universo da metodologia BIM.

Recentemente, também foi publicado o Decreto-Lei n.º 10/2024, de 8 de janeiro, que indica, entre outros, a obrigatoriedade do BIM em projetos de arquitetura para efeitos de licenciamento. A publicação deste Decreto-Lei alavanca a adoção do BIM em Portugal [3], uma vez que refere a obrigatoriedade da apresentação de projetos de arquitetura com metodologia BIM para efeitos de licenciamento. No entanto, não estabelece os níveis de detalhe, não existindo assim uma legislação que indique quais são ou serão os níveis de detalhe de um modelo BIM nas diversas fases de projeto.

Analisando a implementação da metodologia BIM a nível internacional é possível verificar que em quase todos os países em que a adoção da metodologia BIM tem sido muito bem conseguida, o governo teve em conta os níveis de maturidade em que os seus países se encontravam, definindo os níveis mínimos que os projetos deviam atingir. O governo britânico é um exemplo do referido, tendo declarado, em 2011, que todos os projetos financiados pelo Estado deveriam atingir o nível de

maturidade 2 [4], [5]. Neste sentido, considera-se que um procedimento semelhante deveria ser utilizado a nível nacional, definindo níveis mínimos e criando e adaptando a legislação às necessidades das metodologias BIM.

A presente comunicação teve por objetivo centrar-se na identificação de normas internacionais relevantes para o estabelecimento de conteúdos técnicos a adotar na fase de elaboração de projetos com recurso à metodologia BIM. Após a identificação destas normas, procedeu-se a uma análise dos impactos que a adoção da metodologia BIM tem nos procedimentos atuais.

O trabalho apresentado nesta comunicação foi desenvolvido no âmbito de uma dissertação de mestrado da Universidade Lusófona, de Lisboa, com acolhimento no LNEC, e no âmbito do projeto “Digital Construction Revolution – REV@CONSTRUCTION”.

2. Normas relevantes para o uso de metodologia BIM

A nível internacional, foram publicadas normas que estabelecem os requisitos a satisfazer na elaboração de um BEP, assim como os requisitos e os processos associados a partilha de informação em BIM. Entretanto, nas alíneas abaixo são identificadas e caracterizadas de forma sintética as principais normas referentes a metodologia BIM na fase de elaboração de projeto.

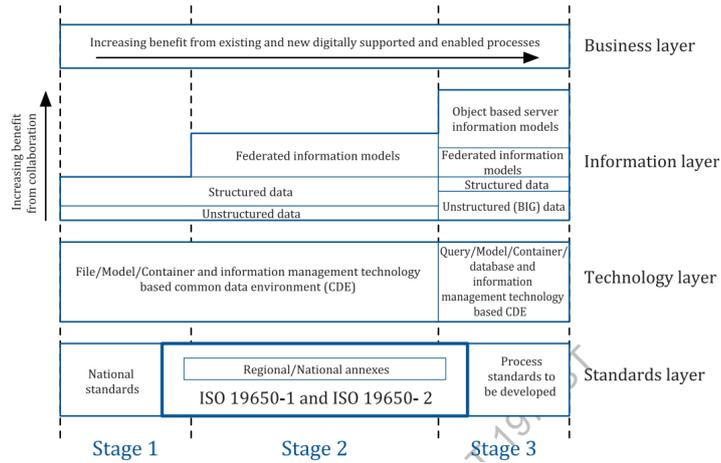
a) ISO 19650-1:2018

A ISO 19650-1:2018 é a primeira parte da norma ISO 19650 – *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling*. Esta primeira parte tem como título *concepts and principles* e destina-se principalmente a ser utilizada por:

- Entidades envolvidas na aquisição, conceção, construção e/ou colocação em funcionamento de empreendimentos construídos; e
- Entidades envolvidas na execução de atividades de gestão de ativos, incluindo operações e manutenção.

De acordo com a norma, a gestão da informação é representada como uma sequência de fases de maturidade. Na figura 2.1 apresenta-se as fases de maturidade da gestão analógica e digital de acordo com a ISO 19650:1.

Figura 2.1
Fases de maturidade da gestão analógica e digital [6].



Pela figura 2.1, é possível observar que no estágio de maturidade 1 estabelece-se a criação de normas nacionais por país, sendo que algumas informações já são partilhadas em um ambiente comum de dados (CDE), mas na maioria das vezes ainda não é um CDE baseado em plataformas digitais. No estágio de maturidade 2, para além de se poder partilhar as informações em um CDE, também já se faz a utilização de um modelo de informação 3D federado, ou seja, um modelo de informação que contém informações de todas as especialidades. Na fase 3 de maturidade, a partilha de informação já é feita num CDE apoiado em plataformas digitais. O modelo de informação é muito mais completo e consequentemente se atinge os maiores benefícios da metodologia BIM. Neste sentido, com base na figura 2.1, pode-se concluir que o desenvolvimento de normas, os avanços tecnológicos e formas cada vez mais sofisticadas de gestão da informação se interligam para proporcionar cada vez mais benefícios.

b) ISO 19650-2:2018

A ISO 19650-2:2018, que tem como título “*Delivery phase of the assets*”, é a segunda parte da norma ISO 19650 – *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling* – que tem como objetivo auxiliar o Dono da Obra a estabelecer os requisitos de informação durante o período de desenvolvimento do seu empreendimento e a fornecer um ambiente comercial e colaborativo adequado para que os prestadores de serviço possam produzir informações de maneira eficaz e de forma eficiente.

De acordo com esta parte da norma, o processo de fase de entrega de informação termina com a transferência das informações do Modelo de informação do Projeto (PIM) para o Modelo de Informação do Empreendimento (AIM), sendo que o PIM é o modelo de informação desenvolvido durante a fase de conceção e construção de um projeto. Este modelo é criado de maneira progressiva, primeiro como um modelo de intenção de projeto e depois como um modelo de construção, que contém todos os objetos e informações para a construção do empreendimento. O AIM é um

modelo de informação que compila os dados e informações necessárias para apoiar a gestão do empreendimento, ou seja, é o modelo de informação na fase operacional do empreendimento. Entretanto, pela norma pode-se concluir que um AIM pode ser criado a partir de sistemas de informação de empreendimentos existentes, de novas informações ou de informações contidas num PIM que tenha sido criado para a construção de um novo empreendimento [7].

c) ISO 12006

A ISO 12006-2:2015 é resultado do trabalho desenvolvido pelo comité ISO/TC 59 SC 13. Este grupo tem trabalhado na organização e classificação da informação para construção civil desde os anos 90 [8].

O primeiro resultado do trabalho desenvolvido por este comité foi a norma ISO/TR 14177:1994. A evolução deste documento levou a cabo a publicação das seguintes normas:

- ISO 12006-2 – *Framework for classification of information*;
- ISO 12006-3 – *Framework for object-oriented information exchange*.

Ambos documentos foram publicados em 2001, visto que, naquela altura, havia poucos sistemas de classificação da informação sobre construção (*Construction Information Classification Systems – CICS*), sendo que o sistema que pode ser considerado o mais amplo CICS desenvolvido até aquele momento era o Uniclass, publicado em 1997 [9]. Entretanto, com o surgimento e adoção de novas tecnologias por parte da indústria da construção, a ISO 12006-2:2001 necessitava de uma adaptação e atualização às novas tendências, como a metodologia BIM. Neste sentido, fez-se diversas atualizações na norma e, deste então, a norma passou a centrar-se nas necessidades de troca de informações ao longo de todo o processo de construção [8].

d) ISO 17412-1:2020

A ISO 17412-1 “*Building Information Modelling – Level of Information*” descreve os conceitos e princípios para o estabelecimento de metodologias de especificação do nível de informação necessária (LOIN).

A norma descreve o LOIN como sendo a “granularidade da informação trocada em termos das informações geométricas, das informações alfanuméricas e da documentação”[10] [*tradução do autor*], isto é, projetos diferentes têm diferentes finalidades, logo, terão necessidades de informações (geométricas, alfanuméricas e documentação) próprias.

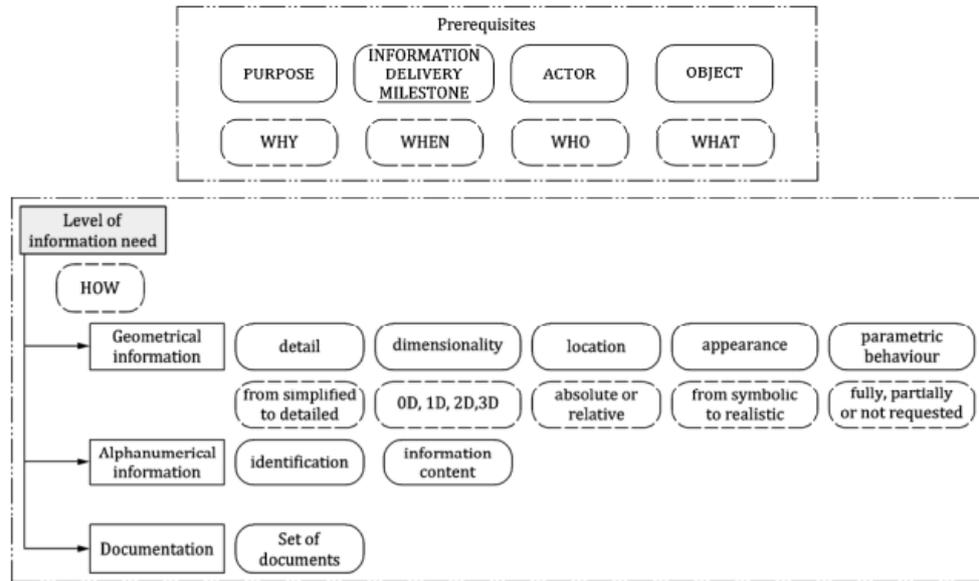
De acordo com esta norma, ao fazer-se a definição do LOIN, é importante que se considere os seguintes pré-requisitos:

- Objetivos da utilização da informação a ser entregue;
- Momento para a entrega da informação;
- Entidades que vão solicitar e entidades que vão entregar a informação.

Na figura 2.2 apresenta-se a relação entre os LOIN e os pré-requisitos de informação. Nela é possível observar que tudo depende do uso que se vai dar ao modelo BIM e é exatamente nisso que a norma ISO 17412-1:2020 se foca, em fornecer orientações e princípios para a definição dos níveis de informação nas diferentes fases de projeto que estejam em consonância com o uso que se vai dar ao modelo BIM.

Figura 2.2

Diagrama de relação do nível de informação necessária – LOIN [10].



e) ISO 29481-1:2016

A norma ISO 29481-1:2016 resulta de um trabalho desenvolvido pelo comité ISO/TC 59. A parte 1 da norma foi concebida para desenvolver um manual de entrega de informações (IDM) que ofereça uma tecnologia digital e que reúna mecanismos para caracterizar e tornar visíveis as informações necessárias para o planeamento, projeto, construção e operação das instalações construídas, bem como todas as informações que serão utilizadas ao longo do ciclo de vida do ambiente construído [11].

De um modo geral, esta parte da norma fornece uma base que possibilita a partilha/troca de informações entre os utilizadores, de maneira a garantir a receção das informações precisas e suficientes para as atividades a realizar. Assim, esta norma terá de ser igualmente atendida no estabelecimento de conteúdos técnicos a adotar na elaboração e no faseamento de projetos com recurso à metodologia BIM.

Em síntese, das normas apresentadas nas alíneas acima, a norma ISO 19650 é que mais está consagrada e a que os países mais têm utilizado para a implementação da metodologia BIM. Portugal não será certamente a exceção, pelo que esta norma tem necessariamente de constituir um referencial para a adaptação da metodologia BIM. Porém, depois de analisar a ISO 19650 foi possível verificar que esta norma foi baseada na norma de gestão de ativos. Este condicionamento acarreta a que a terminologia utilizada seja pouco perceptível no nosso enquadramento jurídico e pouco

inteligível de forma imediata, constituindo a sua tradução uma tarefa difícil, se não se quiser desvirtuar o sentido da redação original desta norma.

Assim, para além de ser necessária a adaptação das normas internacionais ao contexto nacional, uma boa parte da legislação aplicada na construção em Portugal vai ter de ser adaptada à metodologia BIM. Neste sentido, no capítulo seguinte são apresentados alguns impactos da metodologia BIM nos procedimentos atuais.

3. Impactos do BIM nos procedimentos atuais

A implementação da metodologia BIM nos procedimentos atuais de elaboração de projetos proporciona benefícios. No entanto, esta mudança deverá afetar as formas tradicionais de trabalho. Neste sentido, nas alíneas seguintes são apresentados alguns dos impactos da metodologia BIM nos procedimentos atuais de elaboração de projetos.

a) Lei n.º 40/2015

A Lei n.º 40/2015, de 1 de junho, estabelece “a qualificação profissional exigível aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projetos, coordenação de projetos, direção de obra pública ou particular”. Analisando os procedimentos atuais, verifica-se que algumas das entidades referidas têm uma grande importância na gestão e coordenação do empreendimento, tais como:

- O Gestor do Contrato: o Dono da Obra deve designar um gestor de contrato que, de acordo com o código dos contratos públicos (CCP), acompanhe de forma permanente a execução do contrato;
- O Coordenador de Projeto: técnico que tem a responsabilidade de fazer a conexão correta da equipa de projeto, tendo sempre em conta as características da obra [12];
- O Gestor do Empreendimento: entidade que auxilia o Dono da Obra nas questões ligadas à gestão da construção do empreendimento [13].

À semelhança dos procedimentos atuais, nos procedimentos BIM também se encontram entidades importantes na gestão e coordenação do empreendimento, tais como:

- *BIM Manager* ou Gestor BIM: responsável pela coordenação da equipa de produção e modelação do modelo BIM. Para tal, deve avaliar os níveis de informação necessários (LOIN) e, em seguida, desenvolver um plano que se adequa ou adapte aos desejos do Dono da Obra [14];
- *BIM Coordinator* ou Coordenador BIM: tem como principal responsabilidade garantir que todos os membros da equipa de projeto seguem à risca o plano de execução BIM (BEP) [15];
- *BIM project manager* ou Gestor do Empreendimento BIM: entidade responsável por todo o processo de gestão e aplicação da metodologia BIM ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento [14], [15].

Comparando as entidades que surgem com a metodologia BIM e as entidades presentes nos procedimentos atuais, é possível constatar que em ambas as situações existem entidades que desempenham funções idênticas ou com idênticos objetivos finais. Havendo alguma sobreposição de funções, importa clarificar o que compete a quem, nomeadamente o que compete a um projetista face a um Gestor BIM, o que compete a um Diretor de Fiscalização de obra face a um Gestor do Empreendimento BIM e o que compete a este último face a um Gestor de Empreendimento. Considera-se, assim, que as novas funções e entidades sejam contempladas numa futura atualização da Lei n.º 40/2015, de 1 de junho.

b) Formas de projetar (objetos BIM)

O projeto com metodologia BIM baseia-se na utilização de objetos e na atribuição de propriedades a esses objetos. O processo de projeto recorre normalmente a bibliotecas de objetos provenientes de várias fontes, tais como instituições públicas ou privadas, fabricantes e fornecedores de materiais, *softwares*, entre outras.

As bibliotecas de objetos constituem assim uma fonte importante de informação, que deverá, por isso, também ser objeto de referência numa nova proposta legislativa sobre metodologia BIM. As bibliotecas de objetos disponibilizadas pelos *softwares* BIM estão longe de ser abrangentes, tendo, por isso, alguns países constituído as suas próprias bibliotecas BIM, como por exemplo a *BIM National Library* (BNL) no Reino Unido, propriedade do Instituto Real dos Arquitetos Britânicos (RIBA), que oferece mais de 6.500 objetos BIM em 150 categorias. Os objetos descarregados contêm ficheiros em formato IFC e um ficheiro de texto para os seus parâmetros específicos [17]. A nível nacional, considera-se relevante a criação/desenvolvimento de uma biblioteca nacional de objetos BIM que se enquadre nas necessidades do sector AEC português.

Os sistemas de classificação da construção constituem também um aspeto fulcral para a operacionalidade da metodologia BIM. A nível nacional, registam-se algumas iniciativas no sentido de ser estabelecido um sistema de classificação de elementos da construção aplicável a objetos BIM, nas quais se destaca o projeto SECCLASS [18], baseado na adaptação de sistemas internacionais de classificação. O sistema SECCLASS poderá assim ser adotado nas metodologias BIM, consagrando-se como um sistema único, universal e tecnicamente reconhecido para a classificação da construção.

c) Entregáveis, contratação de serviços BIM e caderno de encargos

Adotar o BIM significará deixar para trás um processo em que as representações gráficas são em 2D com peças escritas complementares, para dar lugar a um processo que tem por base um modelo tridimensional, compartilhado e que vai evoluindo nas diversas fases de projeto [19].

Em primeira análise, nota-se claramente que ao compararmos os processos tradicionais com os processos em BIM haverá diferenças nos entregáveis. Atualmente, entregam-se peças (desenhadas e escritas) impressas em papel, o que difere do que

resulta da utilização de metodologia BIM, a partir da qual a informação é entregue em formato digital, desde ficheiros “pdf” a modelos 3D colocados no CDE.

Essa diferença de entregáveis também vai afetar a forma como se vai desenvolver as soluções para cada especialidade [20], [19].

Nos processos tradicionais ou atuais, primeiro desenvolve-se cada solução, a seguir faz-se a compatibilização das soluções e, posteriormente, faz-se as revisões necessárias e procede-se à geração da documentação para o projeto. Com a metodologia BIM o processo é muito diferente, uma vez que a compatibilização é uma atividade de rotina e da responsabilidade de toda a equipa de projeto. Assim, a aprovação das soluções de cada disciplina é feita sempre de maneira conjunta tornando o processo muito mais eficaz [21], [20].

Considera-se importante que numa próxima proposta legislativa sobre metodologia BIM seja equacionada a relevância e a adequação da menção explícita a OpenBIM e às normas sobre o formato IFC.

d) Propriedade intelectual e responsabilização

A metodologia BIM gira em torno da gestão e partilha de informação. Este processo de partilha de informação não é apenas importante durante a fase de projeto e construção de um empreendimento, mas também durante a fase de operação dos empreendimentos [21], [22].

Por isso, torna-se muito necessário que a utilização do modelo BIM esteja à disposição do empreiteiro e, especialmente, do Dono da Obra. Por outro lado, existem os direitos de propriedade do projetista e nesse sentido há a necessidade de haver algum acordo ou consenso entre o projetista e as outras partes [21].

Esse consenso pode ser encontrado estabelecendo alguns acordos contratuais que permitam ao Dono da Obra utilizar e distribuir livremente a metodologia BIM sem procedimentos formais de aprovação, mas com responsabilidade ajustada. Por conseguinte, é aconselhável descrever as condições e limitações da utilização desta metodologia BIM. Alguns tópicos a abordar são, por exemplo, a extensão da partilha gráfica e não gráfica das informações que podem ser utilizadas durante cada fase do projeto e os limites de responsabilidade do projetista relacionadas com alterações aos modelos feitas pelo Dono da Obra ou por terceiros [21].

Esses limites de responsabilidades terão um grande impacto na fase de assistência técnica, porque na fase de projeto o modelo BIM é da responsabilidade do Dono da Obra, mas na fase de construção é da responsabilidade do empreiteiro.

De acordo com a Portaria n.º 959/2009, de 29 de agosto, “não podem ser executados quaisquer trabalhos nos termos das alterações ao projeto propostas pelo empreiteiro sem que estas tenham sido expressamente aceites pelo Dono da Obra e apreciadas pelo autor do projeto”. No caso de o Dono da Obra aprovar a alteração, haverá a

necessidade de alguém alterar ou atualizar essa informação no modelo BIM. Pode-se dizer que seja o empreiteiro a realizar a alteração visto que na fase de construção o modelo BIM é da sua responsabilidade, mas talvez haja a necessidade do projetista validar essa informação, ou pode ser o próprio projetista a realizar essa alteração. Neste sentido, é importante que se faça uma adaptação/atualização da Portaria n.º 959/2009, para que defina quem será o responsável por atualizar a informação no modelo BIM e se há ou não a necessidade de uma validação do projetista caso não seja ele a executar a alteração.

4. Conclusões

Na presente comunicação procedeu-se à identificação de normas internacionais relevantes para o estabelecimento de conteúdos técnicos a adotar na elaboração e no faseamento de projetos com recurso à metodologia BIM, quais as dificuldades que podem ser encontradas na sua adaptação ao contexto nacional e quais os principais impactos do BIM nos procedimentos atuais. Fez-se a apresentação das principais normas BIM, tendo-se concluído que a série de normas ISO19650 é a que mais tem sido utilizada por diversos países a nível internacional, pelo que terá de ser tida em consideração na redação de uma proposta legislativa com conteúdos técnicos a adotar na elaboração de projetos, sendo necessário adaptá-la ao contexto nacional. Porém, esta adaptação será um processo complexo, pois a norma apresenta uma terminologia muito diferente da terminologia usada e conhecida pelo setor AEC nacional.

Do ponto vista legislativo, o Decreto-Lei n.º 10/2024, de 8 de janeiro, e a atual Portaria n.º 255/2023, de 7 de agosto (antiga Portaria n.º 701-H/2008, de 29 de julho), introduzem o termo BIM em legislação nacional para a elaboração de projetos. No entanto, a metodologia BIM nesta legislação é incipiente e sem muitos reflexos e desenvolvimentos ao longo do documento de um modo geral, remetendo por diversas vezes para o processo tradicional em que a troca de informação é em papel e não contemplando muitos dos conteúdos e dos conceitos ligados à metodologia BIM.

Por outro lado, é inquestionável que a adoção da metodologia BIM traz vantagens para o processo de projeto face aos métodos ou procedimentos tradicionais. Porém, a adoção da metodologia BIM terá impactos significativos nos procedimentos atuais para a elaboração de projetos, destacando-se o surgimento de novos perfis de profissionais e as mudanças na forma de trabalhar. A legislação nacional deverá assim antecipar, prever e refletir esses impactos, adaptando-se a esses novos intervenientes, às novas atribuições que os principais intervenientes no ciclo de vida de um empreendimento terão e ao novo processo de modelação em BIM que vai transitando e evoluindo em todas as fases de projeto e ao longo de todo o ciclo de vida de um empreendimento.

Referências

- [1] H. Aladağ, G. Demirdöğen, A. T. Demirbağ, and Z. Işık, “Understanding the perception differences on BIM adoption factors across the professions of AEC industry,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, no. 11, 2023, doi: 10.1016/j.asej.2023.102545.
- [2] Ministério da Habitação, “Portaria n.º 255/2023, 7 de agosto – Habitação,” *Diário da República*, vol. 1.ª série, no. 152, pp. 18-107, 2023, [Online]. Available: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/portaria/255-2023-216770690>
- [3] Presidência do Conselho de Ministros, “Decreto-Lei n.º 10/2024, de 8 de janeiro,” *Diário da República n.º 5/2024, Série I 2024-01-08, páginas 5-52*, 2024.
- [4] A. A. Costa, “BIM e a Digitalização da Construção e das Infraestruturas,” *Plataforma Port. Indústria i4.0, Grup. Trab. BIM Construção e Infraestruturas. Conferência Construção 4.0 do Proj. ao Construtor e ao Jurista*, vol. 20, pp. 1-54, 2018, [Online]. Available: <https://cotecportugal.pt/pt/courses/bim-e-a-digitalizacao-da-construcao-e-das-infraestruturas/>
- [5] A. Z. Sampaio, “Project management in office: BIM implementation,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 196, pp. 840-847, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.12.083.
- [6] (ISO ISO 19650-1, “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 COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT,” 2018.
- [7] “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 assets,” 2018. [Online]. Available: www.iso.org
- [8] “Building construction-Organization of information about construction works-Part 2: Framework for classification COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT,” 2015. [Online]. Available: www.iso.org
- [9] H.M.Nunes, “Sistemas de classificação de informação da construção,” pp.1-122, 2016.
- [10] EN 17412-1:2020 (E), “Building Information Modelling – Level of Information Need – Part 1: Concepts and principles,” 2020.
- [11] ISO 29481-1:2016, “Building information models Information delivery manual Part 1: Methodology and format,” vol. 2016, 2016.
- [12] T. Integrante and D. O. Ato, “Índice,” 2023.

- [13] A. A. Costa *et al.*, “Relatório do Plano de Apoio à Obrigatoriedade Faseada do BIM em Portugal – PLAN4Digital,” 2023, [Online]. Available: www.revconstrucao.pt
- [14] F. Daniel, “BIM manager.pdf,” *Qatar BIM Userday*. p. 20, 2013.
- [15] T. K. Gustavsson, “Liminal roles in construction project practice: exploring change through the roles of partnering manager, building logistic specialist and BIM coordinator,” *Constr. Manag. Econ.*, vol. 36, no. 11, pp. 599-610, 2018, doi: 10.1080/01446193.2018.1464197.
- [16] M. Urbieto, M. Urbieto, T. Laborde, G. Villarreal, and G. Rossi, “Generating BIM model from structural and architectural plans using Artificial Intelligence,” *J. Build. Eng.*, vol. 78, no. August, p. 107672, 2023, doi: 10.1016/j.job.2023.107672.
- [17] W. Lu, K. Chen, J. Wang, and F. Xue, “Developing an Open Access BIM Objects Library: A Hong Kong Study,” no. July, pp. 407-414, 2017, doi: 10.24928/jc3-2017/0254.
- [18] A. Mendez *et al.*, “Projeto SECCLASS – O desenvolvimento de um sistema de classificação da construção com componente de sustentabilidade adaptado ao BIM,” *4.º Congr. Port. ‘Building Inf. Model. vol. 2 – ptBIM*, pp. 268-278, 2022, doi: 10.21814/uminho.ed.77.23.
- [19] G. H. Nunes and M. Leão, “Revista de Engenharia Civil Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM,” *Rev. Eng. Civ.*, no. 55, pp. 47-61, 2018, [Online]. Available: <http://www.civil.uminho.pt/revista>
- [20] I. Czmoch and A. Pękala, “Traditional design versus BIM based design,” *Procedia Eng.*, vol. 91, no. TFoCE, pp. 210-215, 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.048.
- [21] UK BIM Alliance, “Information Management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part 1: Concepts,” *UK BIM Alliance*, no. April, pp. 1-42, 2019.
- [22] UK BIM Framework, “Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part 2: Processes for Project Delivery,” *UK BIM Alliance*, no. 3, p. 42, 2020, [Online]. Available: <https://www.ukbimalliance.org/stories/information-management-according-to-bs-en-iso-19650/>

Uso do BIM em projetos de extensão do IFPB: Diagnóstico de maturidade

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.34>

**Jorge Maciel¹, Evely Lira², Antonio Júnior³,
Francisco Abreu⁴, Francisco Silva⁵**

¹ Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, ID 0009-0006-0456-2416

² Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, ID 0009-0002-7470-9875

³ Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, ID 0000-0002-0529-5894

⁴ Instituto Federal da Paraíba, Cajazeiras-PB, ID 0000-0002-2457-5234

⁵ Superintendência de Obras do Plano de Desenvolvimento do Estado,
Cajazeiras-PB, ID 0009-0008-6630-6113

Resumo

O BIM está cada vez mais presente no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), pois auxilia no desenvolvimento e gerenciamento eficiente de projetos, entretanto, ainda existem dificuldades na implementação desta metodologia na área, problema que origina-se ainda na formação acadêmica dos profissionais. Nesse contexto, o Campus Cajazeiras do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) possui um déficit na aplicação do BIM nas atividades de pesquisa e ensino, fato constatado pela: ausência do assunto nas ementas das disciplinas do curso de Engenharia Civil, falta de qualificação dos docentes e carência de iniciativas para projetos sobre o tema. Entretanto, destacam-se dois ambientes da extensão acadêmica na instituição que utilizam a ferramenta em suas atividades: o Cactus-cz e a I-Minerva. Destarte, discentes do campus objetivando complementar sua formação, buscam estes espaços como meio desenvolvedor de habilidades, por meio de práticas com BIM. No Cactus-cz, a ferramenta é utilizada na elaboração de projetos de habitações de interesse social, e na I-Minerva, empresa júnior, auxilia na realização dos projetos de engenharia e arquitetura, qualificando os profissionais para ingressar no mercado de trabalho. Neste cenário, o presente artigo tem como objetivo realizar um diagnóstico do uso do BIM nesses ambientes de extensão acadêmica para compreender seu impacto na formação dos estudantes e suas possibilidades de curricularização exigidas pelo Ministério da Educação (MEC). Será utilizado dentro dos processos metodológicos o modelo de maturidade para instituições de ensino superior proposto por Lima, Barros Neto e Boes [1] que estabelece indicadores de processos, tecnologias e políticas associados ao BIM.

1. Introdução

A metodologia Building Information Modeling (BIM) tem se consolidado como uma ferramenta fundamental no âmbito da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), oferecendo benefícios significativos para o desenvolvimento e gerenciamento eficiente de projetos. No entanto, a implementação bem-sucedida do BIM enfrenta desafios, especialmente quando consideramos a formação acadêmica dos profissionais envolvidos. Esta problemática ganha contornos específicos no contexto do Campus Cajazeiras do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), onde se evidencia um déficit na aplicação do BIM nas atividades de pesquisa e ensino.

A ausência do tema nas ementas das disciplinas do curso de Engenharia Civil, a falta de qualificação dos docentes e a escassez de iniciativas para projetos relacionados ao BIM contribuem para a carência de uma sólida base acadêmica nessa área. Contudo, destaca-se a presença do BIM em dois ambientes de extensão acadêmica na instituição: o Centro de Assessoria Comunitária a Tecnologias de Utilidades Sociais (Cactus-cz) e a I-Minerva Engenharia. Esses espaços se destacam como pontos de referência para os discentes que buscam complementar sua formação, encontrando neles oportunidades para desenvolver habilidades práticas com BIM.

O Cactus-cz surgiu em dezembro de 2019 como um centro de extensão, oferecendo uma alternativa para a criação de um espaço que possibilite aos estudantes cultivarem autonomia, solidariedade e responsabilidade social por meio de projetos concebidos e conduzidos pelos próprios alunos, com supervisão e orientação dos professores. Já a I-Minerva é a Empresa Júnior do curso de Engenharia Civil, vinculada ao Instituto Federal da Paraíba, que também foi fundada em 2019. No Cactus-cz, a ferramenta é empregada na elaboração de projetos voltados para habitações de interesse social, enquanto na I-Minerva, o BIM desempenha um papel crucial na realização de projetos de engenharia e arquitetura. Essas iniciativas não apenas preenchem lacunas na formação acadêmica, mas também qualificam os estudantes para os desafios do mercado de trabalho.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo realizar um diagnóstico do uso do BIM nos ambientes de extensão acadêmica, a fim de compreender seu impacto na formação dos estudantes e avaliar suas possibilidades de curricularização, conforme exigências do Ministério da Educação (MEC). Para alcançar esse propósito, será adotado o modelo de maturidade para instituições de ensino superior proposto por Lima, Barros Neto e Boes [1], que estabelece indicadores relacionados a processos, tecnologias e políticas associadas ao BIM. A pesquisa fundamenta-se em uma revisão bibliográfica abrangente sobre BIM, aliada à investigação das atividades extensionistas que incorporam essa ferramenta. A aplicação do modelo de matriz de maturidade BIM para instituições de ensino superior, associada à metodologia de pesquisa-ação, proporcionará *insights* valiosos para compreender o nível de maturidade BIM nos projetos extensionais Cactus-CZ e I-Minerva, contribuindo assim para o avanço do uso do BIM no contexto acadêmico.

2. Referencial teórico

O BIM tem se tornado cada vez mais presente no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) por auxiliar no desenvolvimento e gerenciamento eficiente de projetos, entretanto, ainda existem dificuldades e relutâncias na implementação desta metodologia na área, problema este que origina-se ainda na formação acadêmica dos profissionais, uma vez que as universidades brasileiras ainda não se adaptaram a ferramenta BIM, formando profissionais que até fazem uso de *softwares* BIM, mas que não possuem o conhecimento do real potencial da metodologia [2].

A Constituição Brasileira prevê que as universidades do país são formadas pela indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão. O primeiro corresponde a construção do conhecimento, o segundo a criação de novos conceitos e ideias, e o último está relacionado ao compartilhamento de resultados com a sociedade [3]. Nesse contexto, o Campus Cajazeiras do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) possui um déficit na aplicação do BIM nas atividades de pesquisa e ensino, fato constatado por uma pesquisa realizada na instituição, que identificou que o conhecimento acerca da metodologia ainda é bastante restrito na comunidade [4].

Para Abranches [5] as atividades extensionistas são de grande valia para a formação acadêmica, dado que atuam por meio da sistematização de ideias e da promoção do saber intrínseco a essas atividades. Desse modo, apresenta-se claramente a notoriedade e magnitude da extensão universitária como alternativa e suplementação à formação acadêmica dos discentes da instituição em relação ao BIM.

Destarte, dois ambientes da extensão acadêmica na instituição utilizam a ferramenta em suas atividades: a I-Minerva (empresa júnior) e o Cactus-cz (escritório modelo). As empresas juniores (EJs) realizam projetos de engenharia e arquitetura, qualificando os profissionais para o ingresso no mercado de trabalho. No Brasil, o BIM é utilizado em quase todas as EJs de engenharia e arquitetura, demonstrando o papel delas na formação profissional dos seus membros [6]. Segundo Bezerra [7] “os escritórios modelos possuem objetivos semelhantes aos das empresas juniores, porém com um viés muito forte social e tem como princípio o trabalho coletivo.”

Entender o nível de maturidade BIM de uma instituição é essencial para possibilitar a tomada de ações de incentivo e fortalecimento da temática com base na análise dos pontos fortes e fracos elencados, Lima, Barros Neto e Boes [1] propõem um modelo de matriz de maturidade BIM voltado para a aferição do nível de maturidade BIM das Instituições de Ensino Superior (IES), denominada *m²BIM-IES*.

A metodologia proposta está estruturada em três campos BIM: Políticas, Processos e Tecnologia [8], que por sua vez possuem 16 critérios divididos em cinco níveis de maturidade atrelados a diferentes pontuações, que são:

- a) Pré-BIM (5 pontos);
- b) Inicial (20 pontos);
- c) Definido (30 pontos);

- d) Integrado (40 pontos);
- e) Otimizado (50 pontos).

O Grau de Maturidade é definido como sendo a média aritmética da pontuação dos critérios, enquanto o Índice de Maturidade é um valor percentual referenciado ao Grau, ou seja, o índice máximo de 100% corresponde ao grau máximo possível (50 pontos). Por fim, o Nível de Maturidade BIM que indica o desempenho das IES no tema é extraído pela relação entre o Índice de Maturidade e o Grau de Maturidade (Tabela 1).

Tabela 1: Grau de Maturidade BIM

	Índice de Maturidade	Nível de Maturidade	Classificação
a	0 - 19%	Pré-BIM	Sem maturidade
b	20 - 39%	Inicial	Baixa maturidade
c	40 - 59%	Definido	Média maturidade
d	60 - 79%	Integrado	Alta maturidade
e	80 - 100%	Otimizado	Maturidade muito alta

3. Metodologia

De início, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre BIM, em complemento, investigou-se atividades extensionistas que adotassem a ferramenta. Em consequência disso, o presente trabalho utiliza como ferramenta de pesquisa o modelo de matriz de maturidade BIM para IES proposto por Lima, Barros Neto e Boes [1]. Com base nos 3 campos de Succar [8] e 16 critérios do $m^2BIM-IES$ foi elaborado um questionário, no *Google Forms*, visando a obtenção do nível de maturidade BIM dos projetos extensionistas Cactus-CZ e I-Minerva. Entretanto, fez-se necessário a retirada de alguns critérios que possuíam pouca relevância ou nenhuma correspondência com as atividades extensionistas foco da presente pesquisa. Ademais, a metodologia aplicada neste estudo foi de pesquisa-ação, dado que os autores desta pesquisa se encontram emergidos dentro dos ambientes de extensão estudados.

Dessa maneira, adaptaram-se os critérios conforme o cenário individual dos dois ambientes extensionistas supracitados, logo, a exemplo, a pergunta sobre o engajamento do corpo docente em BIM refere-se apenas à visão do entrevistado em relação aos professores orientadores que compõem o seu projeto de extensão. Entretanto, as perguntas quantitativas. Portanto, a aplicação dos questionários, limitou-se aos professores integrantes do escritório modelo do Cactus-cz e da I-Minerva, que responderam perguntas com base nos seguintes critérios filtrados e adaptados, vide Tabela 2.

Tabela 2: Critérios filtrados e adaptados

Campo	Critério
Políticas	1) Capacitação para o corpo docente
	2) Engajamento do corpo docente em BIM
	3) Visão institucional do BIM
	4) Decreto Federal 9.377 de 2018
Processos	5) Uso do BIM
	6) Publicações
	7) Alunos capacitados
Tecnologias	8) Softwares
	9) Acordos institucionais com desenvolvedores de software
	10) Hardware
	11) Acordos institucionais com desenvolvedores de hardware
	12) Infraestrutura

Para cada pergunta existem cinco opções de respostas ligadas ao critério em questão e cada item remete a um nível da escala de maturidade BIM proposta por Lima, Barros Neto e Boes [1]. Quase todas as perguntas utilizadas da tese original não foram alteradas ou sofreram pequenos ajustes, bem como suas opções suas cinco opções de resposta. Vale ressaltar que as opções de respostas do Campo Tecnologias não sofreram qualquer adaptação da tese original. No Campo Processos, apenas o critério “Alunos Capacitados” precisou ser adaptado, uma vez que a metodologia citava valores numéricos em nível de IES, logo, foi alterado para valores percentuais, sendo as opções: nenhum aluno treinado em BIM, até 25% treinados, até 50%, até 75% e por fim, acima de 75%. Já no Campo Políticas, as perguntas mantiveram sua estrutura, onde apenas houve a ênfase que a resposta deveria ser no tocante ao ambiente extensionista, e não a IES, como era previsto pela instituição.

A pergunta inicial referente ao projeto de extensão do participante permitiu filtrar e entender o cenário individual dos ambientes extensionistas estudados. Uma vez que existiam diversas respostas para um mesmo critério, adotou-se a média da pontuação das respostas dos professores em relação a um mesmo projeto extensionista para o cálculo do grau de maturidade, que é definido como a média aritmética dos 12 itens analisados (soma das pontuações dividida por 12). Vale salientar que embora as respostas fossem qualitativas, para cada item exista atrelado um valor numérico responsável por permitir os cálculos das classificações apresentadas.

Por fim, de posse do Grau de Maturidade de cada projeto extensionista, encontra-se o Índice de Maturidade, bem como o Nível de Maturidade e a classificação deles quanto a sua maturidade em BIM.

4. Resultados e discussão

O formulário elaborado para a pesquisa foi preenchido por três professores orientadores do Cactus-cz e dois da I-Minerva. Vale ressaltar que um deles participa como orientador em ambos os projetos e, portanto, preencheu duas vezes conforme sua ótica em relação a cada projeto. Ressalta-se que a metodologia utilizada [1] foi aplicada apenas aos professores orientadores devido a presença de perguntas de cunho demasiadamente específico, e até mesmo de informações de pouco conhecimento por outros intervenientes dos projetos extensionais, como a existência de acordos institucionais com desenvolvedores de softwares. Por fim, atualmente existem poucos professores orientadores atuando nos ambientes supracitados, desse modo, o número de colaboradores que responderam a pesquisa foi pequeno. Destarte, os resultados serão analisados individualmente por ambiente extensionista, bem como serão feitas análises comparativas entre eles.

Tabela 3: Respostas do formulário para o Cactus-cz

Campo	Critério	Resposta 1	Resposta 2	Resposta 3	Média	Grau do campo	Índice do campo
Políticas	1	20	30	20	23,33	33,33	66,67%
	2	30	40	30	33,33		
	3	50	40	50	46,67		
	4	40	30	20	30,00		
Processos	5	20	20	30	23,33	30,00	60,00%
	6	30	20	20	23,33		
	7	40	40	50	43,33		
Tecnologias	8	40	30	40	36,67	23,33	46,67%
	9	20	20	5	15,00		
	10	20	40	20	26,67		
	11	30	20	5	18,33		
	12	20	20	20	20,00		

Conforme a Tabela 3, o Grau de Maturidade do campo políticas é o maior no Cactus-cz (33,33 pontos), além de ser um pouco próximo do campo processos (30 pontos), entretanto, observa-se que o campo tecnologias apresenta o pior desempenho, com apenas 23,33 pontos. De acordo com os índices obtidos, nota-se que os campos BIM políticas e processos possuem “Alta Maturidade”, com um nível de maturidade “Integrado”, já o campo tecnologias possui “Média Maturidade”, conseqüentemente, um nível de maturidade “Definido” com base na metodologia proposta.

Seguindo a metodologia, obteve-se também o desempenho do Cactus-cz como um todo, sendo o Grau de Maturidade igual a 28,33 pontos, com Índice de 56,67%, o que significa uma “Média Maturidade”. Ressalta-se que o campo tecnologias possui cinco critérios dos 12 totais, logo, desempenha um alto peso nas definições de maturidade, explicando assim as classificações obtidas.

Portanto, observa-se que o desempenho de dois campos é bem satisfatório para o Cactus-cz, entretanto, alguns critérios ainda podem ser potencializados com apoio da IES, além disso, o campo tecnologias apresentou o pior cenário, exigindo uma

resposta ainda mais urgente e forte da IES e do projeto para sanar tais questões, permitindo assim a melhora no Grau de Maturidade do ambiente extensionista.

Tabela 4: Respostas do formulário para a I-Minerva

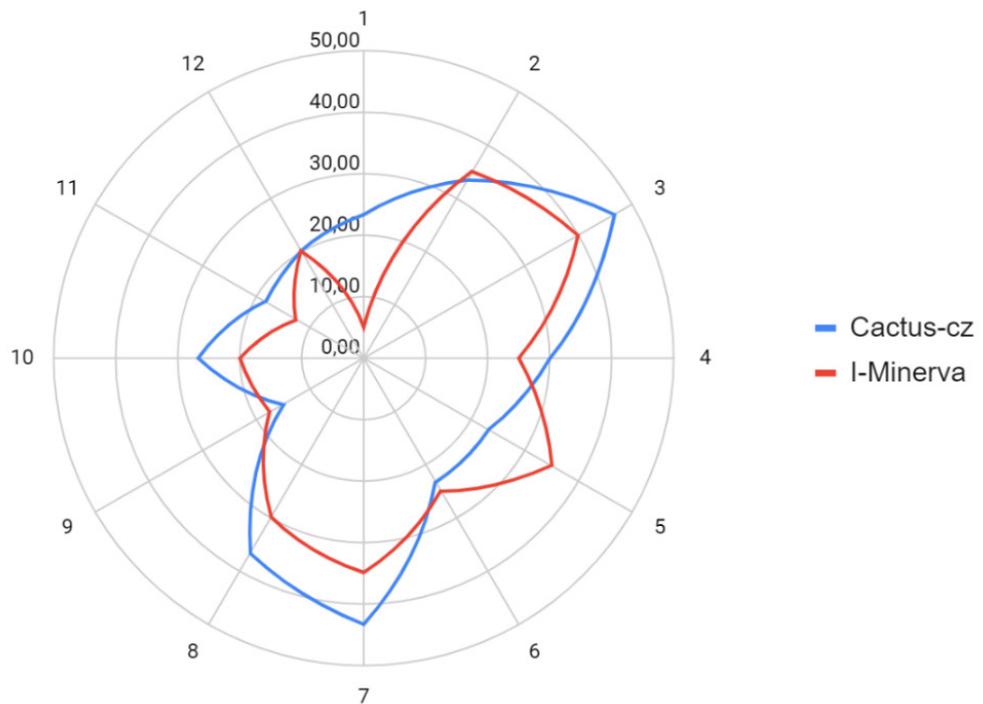
Campo	Critério	Resposta 1	Resposta 2	Média	Grau do campo	Índice do campo
Políticas	1	5	5	5,00	26,25	52,50%
	2	40	30	35,00		
	3	30	50	40,00		
	4	30	20	25,00		
Processos	5	30	40	35,00	31,67	63,33%
	6	30	20	25,00		
	7	30	40	35,00		
Tecnologias	8	30	30	30,00	20,00	40,00%
	9	30	5	17,50		
	10	20	20	20,00		
	11	20	5	12,50		
	12	20	20	20,00		

Na I-Minerva, novamente destacam-se os campos políticos e processos em detrimento de tecnologias. Nesse ambiente, o Grau de Maturidade do campo processos é de 31,67 pontos com um Índice de 63,33%, ou seja, apresenta “Alta Maturidade”. No campo políticas temos um Grau de 26,25 pontos e no campo tecnologias 20,00 pontos, logo, ambos apresentam uma “Média Maturidade”.

O Grau de Maturidade da I-Minerva em si é de 25,00 pontos, o que representa um Índice de 50%, desse modo, temos que o ambiente apresenta uma “Média Maturidade”, com um Nível de Maturidade classificado como “Definido” pela metodologia. Destarte, embora o campo processos tenha tido um bom desempenho, seu peso para a composição do Grau de Maturidade é de apenas 25%, bem abaixo do peso de tecnologias que teve um resultado não satisfatório, demonstrando assim que é uma área a ser melhor avaliada pela instituição buscando melhorias.

Figura 1

Média do Grau de Maturidade para cada critério.



Ao analisar o gráfico da Figura 1, percebemos as diferenças dos critérios entre os projetos, sendo notável que o Cactus-cz sobressai relativamente ao ambiente I-Minerva em diversos critérios (7 de 12) e empatando em apenas um, referente ao último critério.

O campo tecnologias, que compreende toda a infraestrutura tecnológica ou física disponível para a execução das atividades extensionistas possui no geral pontuações bem destoantes em relação aos demais campos em ambos, algo esperado, uma vez que tais espaços e licenças são muitas vezes compartilhados na instituição pelos dois projetos extensionistas. Apenas o critério 8 do campo supracitado obteve uma classificação de “Alta Maturidade” nos dois projetos, enquanto os outros quatro foram definidos como “Baixa Maturidade” (critérios 9 e 11) e “Média Maturidade” (critérios 10 e 12).

No campo BIM de processos, apenas o Cactus-cz obteve um critério com Maturidade “Muito Alta”, que diz respeito aos alunos capacitados (critério 7), ou seja, acima de 75% dos alunos participantes são treinados em BIM, já a I-Minerva obteve “Maturidade de Alta” no mesmo critério, o que estava atrelado a até 75% dos alunos participantes serem treinados em BIM.

Por fim, em relação ao campo políticas encontramos o critério com a maior diferença de pontuação, a pergunta 1 faz menção a capacitação para o corpo docente que integra cada projeto, onde novamente o Cactus-cz se destaca, embora a classificação seja “Média Maturidade” no referido projeto, temos na I-Minerva uma definição de “Sem Maturidade”, a classificação mais crítica possível, indicando um Nível de Maturidade “Pré-BIM”, tal critério foi o único a obter a referida classificação. Ademais, o

Cactus-cz e a I-Minerva obtiveram uma classificação de “Maturidade Muito Alta” em apenas um critério no campo políticas, referente a visão institucional do BIM no ambiente extensionista (critério 3), sendo esse o único dos 12 critérios que a I-Minerva obteve a classificação máxima de maturidade BIM.

5. Considerações finais

De posse dos dados obtidos e com base nas análises realizadas, vislumbra-se a importância dos referidos ambientes extensionistas na formação profissional dos estudantes participantes no tocante a ferramenta BIM, entretanto, alguns indicadores mostram a necessidade de mais investimentos em ações, infraestrutura e processos para melhoria da maturidade BIM não apenas do Cactus-cz e da I-Minerva, mas de todo o Instituto Federal da Paraíba, Campus Cajazeiras.

A metodologia utilizada permitiu uma análise confiável e detalhada da situação individualizada dos projetos extensionistas do IFPB que utilizam o BIM em suas atividades. Os resultados mostraram que os projetos supracitados possuem uma “Média Maturidade”, enquanto o Índice de Maturidade do Cactus-cz e da I-Minerva é de 56,67% e 50,00% respectivamente, ou seja, o primeiro ambiente extensionista apresenta desempenho um pouco superior ao da I-Minerva.

Os critérios que obtiveram o pior desempenho na pesquisa estão contidos no campo tecnologias, correspondentes a infraestrutura física e tecnológica disponibilizadas pela instituição para as atividades extensionistas, sendo esse o principal obstáculo encontrado. A importância atribuída ao campo de tecnologias na determinação do índice geral de maturidade destaca a necessidade de investimentos estratégicos nessa dimensão. A implementação de melhorias nesse sentido não apenas elevará a pontuação específica desse campo, mas também contribuirá significativamente para a maturidade global dos projetos. A falta de engajamento de professores também foi um problema notado durante a pesquisa, uma vez que poucos professores orientadores se disponibilizam a participar das atividades de extensão que envolvem BIM (apenas três no Cactus-cz e dois na I-Minerva, sendo um em comum).

Desse modo, destaca-se que a metodologia proposta e adaptada da original, que por sua vez possuía foco na maturidade das IES, mostrou-se passível de aplicação no meio extensionista, produzindo resultados satisfatórios e importantes para desdobramentos futuros. Isto posto, o presente trabalho não buscou fazer comparações com outros trabalhos que utilizaram a mesma metodologia, uma vez que possuíam caráter de análise a nível de instituições e cursos, não havendo possibilidade comparativa com o objeto formal do presente trabalho: a investigação da aplicabilidade da metodologia a ambientes acadêmicos.

Conclui-se, portanto, que os resultados não devem ser interpretados como um ponto final, mas como o ponto de partida para a implementação de estratégias para fins de melhorias contínuas em nossos ambientes extensionistas tanto quanto de outras instituições. É recomendado que ambos os projetos envolvidos desenvolvam planos

de ação específicos, direcionados para as áreas identificadas como menos maduras. Esse comprometimento com a evolução constante é vital para garantir que os projetos de extensão alcancem seu potencial máximo, proporcionando benefícios significativos tanto para a comunidade acadêmica quanto para a comunidade local beneficiária das atividades realizadas.

Referências

- [1] J. S. Böes, J. de P. Barros Neto and M. M. X. de . Lima, “BIM maturity model for higher education institutions”, *Ambient. constr.*, vol. 21, no. 2, pp. 131-150, Apr. 2021, doi: 10.1590/s1678-86212021000200518.
- [2] E. N. COSTA, “Avaliação da metodologia BIM para a compatibilização de projetos”, Dissertação de Mestrado, Univ. Fed. Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Consult. 2023-11-26. [Em linha]. Disponível: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/3415>
- [3] L. SEPAROVIC e P. PASSARIN. “Universidade: Ensino, Pesquisa e Extensão: Definições e Conceitos. *A USP no Ensino, na Pesquisa e na Extensão*”, 2016.
- [4] P. D. S. Rosa, “perspectivas da utilização da tecnologia BIM no curso de bacharelado em engenharia civil de uma Instituição de Ensino na Paraíba”, 2023.
- [5] M. ABRANCHES. “Política Nacional de Extensão Universitária: identidade e diretriz para a prática extensionista no ensino superior brasileiro.” In: SILVA, L. D.; CÂNDIDO, J. G. *Extensão universitária: conceitos, propostas e provocações*. São Bernardo do Campo: Editora da Universidade Metodista de São Paulo, 2014. pp. 39-62.
- [6] B. C. T. D. AMORIM, “Levantamento do uso BIM nas empresas juniores de arquitetura e engenharia civil do Brasil”, Trabalho de Conclusão de Curso, Fac. Ari SA, Fortaleza, 2020. Consult. 2023-12-22. [Em linha]. Disponível: <http://repositorio.faculdadearidesa.edu.br/jspui/handle/hs826/42>
- [7] J. E. Bezerra, “Implantação do escritório modelo CACTUS: experiência multidisciplinar e parceria com o escritório EDIFICAR”, *Rev. Prax.*, vol. 5, n.º 9, pp. 23-33, 2017. Consult. 2023-11-16. [Em linha]. Disponível: <https://doi.org/10.18265/2318-23692017v5n9p23-33>
- [8] B.SUCCAR. “Building information modelling maturity matrix. In: UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. (ed.). *Handbook of research on building information modeling and construction informatics: concepts and technologies*. Hershey: Information Science Reference”, 2010.

Caracterização da utilização do BIM pelos engenheiros civis no DF, Brasil: Adoção e implementação

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.35>

**José Nilo da Rocha Junior¹,
Michele Tereza Marques Carvalho²,
Fernando Eduardo Andrade Leite Viana³**

¹ *Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil*

² *Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil – 0000-0001-7969-9341*

³ *Universidade Cruzeiro do Sul, Brasília-DF, Brasil*

Resumo

Este estudo inovador investiga a adoção e implementação do Building Information Modeling (BIM) no Distrito Federal (DF), no Brasil, preenchendo uma lacuna importante no conhecimento local sobre esta tecnologia emergente na indústria da construção. O objetivo principal é fornecer um panorama da adoção do BIM, levando em conta a cultura local, legislação, infraestrutura tecnológica, recursos humanos e fatores econômicos. Mediante a aplicação de questionários a profissionais qualificados, obtivemos dados valiosos sobre a atual situação do BIM no DF. Este estudo destaca obstáculos e dificuldades que impedem uma adoção mais ampla, e o estudo propõe estratégias para superar esses desafios, incluindo a colaboração entre instituições acadêmicas, governamentais e setor privado. As estratégias também englobam programas de capacitação, compartilhamento de melhores práticas e desenvolvimento de ferramentas e recursos adaptados ao contexto local. Com um olhar detalhado sobre as tendências atuais e futuras, bem como as características dos profissionais e empresas envolvidas, este estudo oferece contribuições significativas para o aprimoramento e difusão do BIM no DF, e é uma leitura essencial para pesquisadores, profissionais e legisladores interessados em promover a adoção do BIM na região local.

1. Introdução

O BIM, uma plataforma tecnológica emergente, tem se destacado na indústria da construção civil como uma metodologia de trabalho inovadora que integra procedimentos, representações gráficas e informações relevantes aos projetos. Esta abordagem, amplamente reconhecida como fundamental, não apenas promove uma melhor colaboração entre os envolvidos no processo construtivo, mas também é essencial para aumentar a eficiência e a qualidade dos projetos, sublinhando sua relevância crítica para o avanço da indústria da construção civil. A percepção, no entanto, no contexto brasileiro, é que a adoção do BIM ainda não é amplamente difundida, sendo mais uma exceção do que uma regra.

Isso ocorre porque existem inúmeras dificuldades nessa implantação, dentre elas, algumas foram compiladas por Carmona e Carvalho (2017)[1]: falta de mão de obra interna especializada, falta de treinamento, clientes que não demandam a tecnologia, custos, falta de tempo para se dedicar a novas tecnologias, projetos muito pequenos, falta de padronização de ferramentas e protocolos, alto custo de aquisição, alto custo de investimento em treinamento ou problemas com projetistas colaboradores.

Esta investigação foi conduzida através da aplicação de um questionário cuidadosamente desenvolvido, visando coletar informações específicas sobre a adoção e a implementação do Building Information Modeling (BIM) entre os engenheiros civis no Distrito Federal, Brasil. Para alcançar esse objetivo, optou-se pelo uso de questionários eletrônicos, distribuídos aos profissionais da área por meio de links compartilhados via WhatsApp, dada a ampla acessibilidade e eficiência dessa plataforma para disseminação. O questionário utilizado neste estudo foi elaborado com base em uma pesquisa anterior que caracterizou o uso do BIM por construtoras no Distrito Federal (DF) realizado por Carmona e Carvalho (2017) [1].

Este estudo, diferentemente de estudos anteriores, fornece uma análise local específica para engenheiros civis do DF e serve como ponto de partida para uma análise local mais abrangente sobre o BIM em diferentes regiões do Brasil podendo ser conduzido periodicamente para fornecer uma visão mais ampla sobre o tema. É importante reconhecer que diferentes regiões podem estar em estágios de desenvolvimento distintos do BIM e enfrentar desafios particulares.

2. Revisão literária

2.1. Building Information Modelling (BIM)

Ao longo da história, a evolução da concepção e representação gráfica de projetos foi marcada por progressos tecnológicos significativos, passando da construção sem projetos à maquetes de visualização sem documentação, até desenhos em pranchetas. Com o advento da computação nos anos 80, o CAD foi introduzido para desenhos elaborados, enquanto nos anos subsequentes ferramentas de visualização 3D foram

empregadas para aprimorar a compreensão geral de projetos e cortes [6]. Nesse contexto, surgiu o BIM, que expande e supera as capacidades do CAD, com uma abordagem inovadora integrando políticas, processos e tecnologias para gerir o design, a construção e a manutenção de edifícios e instalações, facilitando a modelagem, armazenamento, troca e acesso eficiente às informações ao longo do ciclo de vida do projeto. Representando uma plataforma tecnológica avançada na construção civil, o BIM oferece ferramentas e funcionalidades que superam os processos baseados em documentos, utilizando modelos virtuais para aumentar a eficácia da construção e manutenção de edifícios, revolucionando assim a maneira como os projetos são desenvolvidos e trazendo eficiência e qualidade ao setor de construção [6].

É importante destacar que o BIM representa um fenômeno multifacetado e em constante evolução, que transcende uma simples definição devido à sua capacidade de integrar modelagem, armazenamento, intercâmbio e acesso às informações de construção. Mais do que uma ferramenta ou metodologia, o BIM instaura um novo paradigma na gestão de projetos de construção, marcando uma mudança significativa tanto na tecnologia quanto nos processos dentro da indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Este paradigma evidencia a evolução histórica da disciplina, refletindo a emergência de uma abordagem inovadora que redefine as práticas convencionais de design, execução e manutenção de edificações [7].

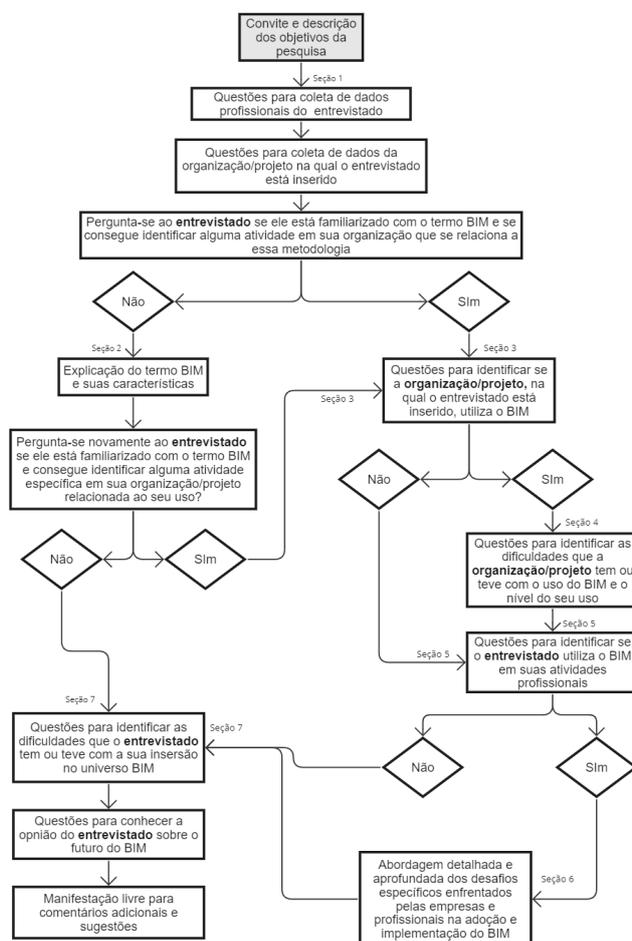


Figura 1
Fluxo do questionário aplicado.

2.2. Vantagem na utilização do BIM

A adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM) na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção apresenta tanto desafios quanto oportunidades significativas. Embora seja crucial reconhecer os riscos associados à sua implementação, as vantagens do BIM são inegáveis e diversificadas [2]. Esses benefícios incluem a visualização em 3D dos projetos, facilitando ensaios virtuais e a compreensão do trabalho antes de sua execução física, além da extração automática de quantidades e simulações detalhadas, que contribuem para uma maior eficiência e precisão no planejamento [6].

Podemos considerar o potencial do BIM para auxiliar fiscais de obras públicas no Brasil e seus benefícios adicionais, ressaltando a importância da tecnologia na melhoria da colaboração entre equipes, na redução de custos e na otimização do gerenciamento do tempo [11]. Essas vantagens sublinham a capacidade do BIM de transformar significativamente os processos de trabalho na construção civil, promovendo uma abordagem mais integrada e eficiente para o projeto, execução e manutenção de edificações.

2.3. Barreiras na implantação do BIM

No contexto brasileiro, os fatores que dificultam a adoção efetiva do BIM incluem a falta de conhecimento, a resistência à mudança e a insuficiência de investimentos. Adicionalmente, destaca-se a necessidade de investir em infraestrutura de Tecnologia da Informação como um dos principais obstáculos para a implementação bem-sucedida do BIM em empresas de construção [5].

Para facilitar a implementação do BIM, algumas estratégias são sugeridas [3], tais como subsidiar o custo dos softwares de BIM, organizar treinamentos e seminários, melhorar a infraestrutura de internet e energia para suportar os grandes arquivos do BIM e promover a cooperação entre profissionais do BIM, acadêmicos e pesquisadores para disseminar o conhecimento. Ademais, recomenda-se o estabelecimento de regulamentações governamentais que normatizem o uso do BIM e promovam a conscientização sobre seus benefícios, com uma participação ativa do setor privado. O engajamento da alta administração em um plano de implementação estratégico, juntamente com a análise dos stakeholders, políticas de BIM e análise de custo-benefício-risco, são estratégias adicionais para aprimorar a adoção do BIM [4]. Outros desafios identificados incluem a queda na produtividade, a percepção do BIM como um trabalho meramente mecânico e a dificuldade em definir níveis de responsabilidade devido ao trabalho colaborativo [9]. A oferta de softwares de teste é sugerida como uma forma eficaz de aumentar a adoção e a eficácia do BIM [8]. Podemos também destacar dois pontos principais que impactam a transformação digital e uso da tecnologia BIM: a alta proporção de profissionais autônomos, evidenciando desafios específicos na arquitetura e urbanismo, e a concentração da maioria dos profissionais em projetos residenciais, principalmente em arquitetura e interiores [13].

3. Metodologia

A metodologia deste artigo consistiu em uma pesquisa detalhada, aplicada por meio de um questionário dividido em sete seções, visando coletar dados locais sobre a adoção e implementação do BIM, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 1. Para atingir esse objetivo, utilizamos questionários eletrônicos desenvolvidos na plataforma Google Forms®, enviados aos engenheiros civis atuantes no DF por meio de links compartilhados via WhatsApp. O design do questionário baseou-se em um estudo prévio que investigou a utilização do BIM por construtoras no DF [1]. A adoção desta abordagem metodológica permitiu-nos obter uma compreensão holística sobre a utilização do BIM por engenheiros civis no DF, incluindo aspectos de sua adoção e implementação. Por meio desta rigorosa estratégia de pesquisa, conseguimos identificar nuances específicas do uso do BIM local. Esta metodologia detalhada não só facilita a disseminação de conhecimento sobre esta tecnologia inovadora, mas também oferece insights valiosos que podem promover sua adoção e implementação efetiva na indústria da construção.

4. Apresentação dos resultados

Uma das principais constatações do uso local do BIM foi a baixa taxa no uso e implementação. A predominância de usos superficiais dessa tecnologia indicou a existência de desafios significativos na adoção do BIM pelas construtoras, profissionais autônomos e empresas de projetos atuantes no DF, apesar do aumento do seu uso no Brasil de 2021 para 2022 de 14% [12].

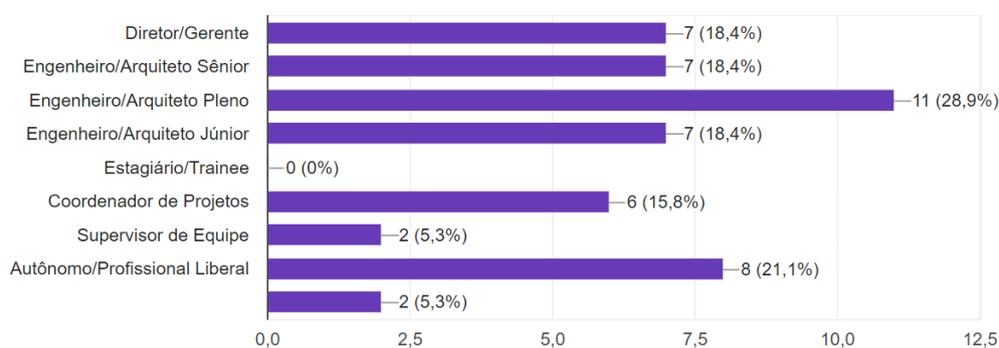
As sete seções do questionário foram respondidas por 38 pessoas conforme fluxograma apresentado na Figura 1 e os resultados podem revelar um pouco do panorama discutido neste estudo.

Na seção 1, que tinha como objetivo coletar dados profissionais dos entrevistados e informações sobre as organizações e projetos em que estão envolvidos, foram feitas as seguintes perguntas: 1) Qual é a sua posição atual na organização/projeto?; 2) Qual é a sua área de formação?; 3) Por quanto tempo você tem atuado profissionalmente nessa área?; 4) Qual é o seu nível de escolaridade?; 5) Qual é o porte da organização/projeto para a qual você trabalha?; 6) Qual é a principal área de atuação da sua organização/projeto?; 7) Quantos empreendimentos a sua organização/projeto possui atualmente em andamento (ou em desenvolvimento) no Distrito Federal ou entorno?; 8) Qual é a faixa de faturamento aproximada anual da sua organização/projeto?; 9) A sua organização/projeto utiliza indicadores de desempenho?; 10) Qual é o tempo médio de duração dos projetos realizados pela organização?; 11) A organização possui filiais em outras localidades?; 12) Qual é o perfil dos clientes atendidos pela organização?; 13) A organização/projeto em que você está inserido possui algum programa de inovação, pesquisa ou desenvolvimento?.

Os dados coletados revelaram que 65,7% dos entrevistados eram engenheiros ou arquitetos em níveis Pleno, Sênior ou Gestores (Gráfico 1), sendo que 94,8% tinham formação nessas áreas. Além disso, 84,2% dos entrevistados tinham pelo menos 5 anos de experiência profissional no mercado. A maioria dos entrevistados, cerca de 63%, possuía pós-graduação, e 60,5% atuavam em médias ou grandes empresas. Observou-se também que quase 40% das empresas ou projetos em que os entrevistados estavam inseridos atuavam na área de obras residenciais, e que 65,8% dos entrevistados trabalhavam em empresas com faturamento acima de 1 milhão de reais. Dessas empresas, 42,1% possuem filiais em outras localidades, 47,4% trabalham para outras empresas e apenas 36,8% possuem algum programa de inovação, pesquisa ou desenvolvimento.

Gráfico 1

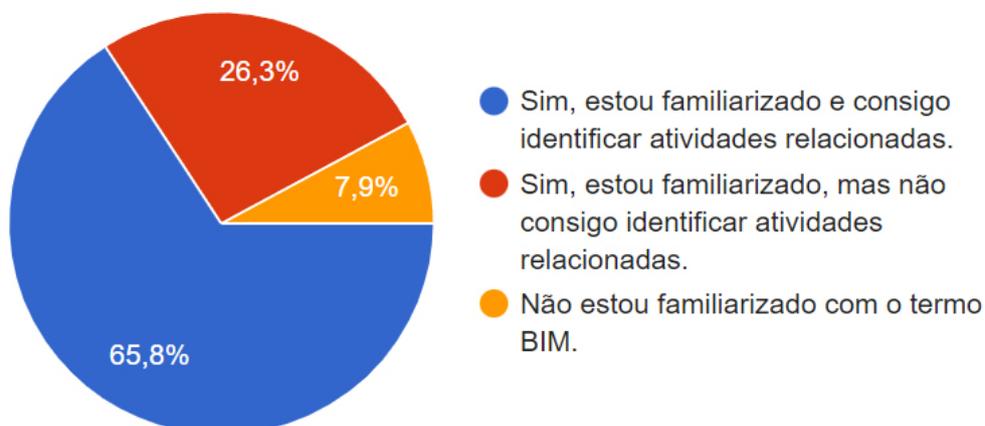
Qual é a sua posição atual na organização/projeto?.

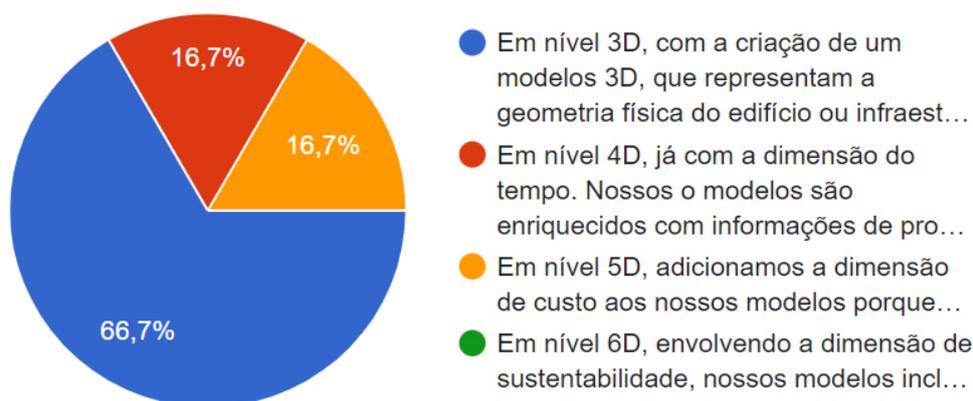


No final da seção 1, foi feita a seguinte pergunta: "Você está familiarizado com o termo BIM e consegue identificar alguma atividade em sua organização que se relaciona a essa metodologia?". O estudo revelou que, embora 65,8% dos entrevistados tenham respondido "sim" e estivessem familiarizados com o termo BIM (encaminhados à seção 3) (Gráfico 3), a maioria deles (66,7%) afirmou que o uso do BIM na organização/projeto em que trabalhavam (Gráfico 3) estava limitado apenas ao nível 3D, o que indica um uso superficial do BIM.

Gráfico 2

Você está familiarizado com o termo BIM e consegue identificar alguma atividade em sua organização que se relaciona a essa metodologia?



**Gráfico 3**

Indique o nível do uso do BIM na sua organização/projeto atualmente.

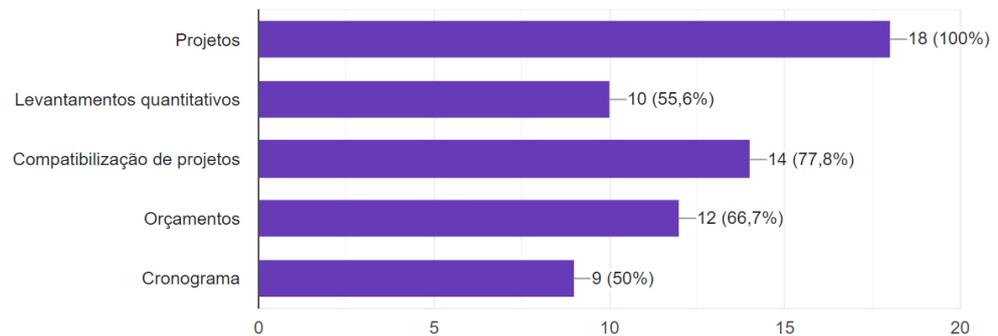
Os participantes que responderam "não" quando questionados sobre sua familiaridade com o termo BIM e se conseguem identificar alguma atividade em sua organização relacionada a essa metodologia, foram direcionados para a seção 2 (Figura 1). Nessa seção, foi apresentado o seguinte texto: "O BIM (Building Information Modeling) é uma abordagem metodológica que faz uso de modelos digitais tridimensionais para criar e gerenciar informações detalhadas de um projeto ao longo de todo o seu ciclo de vida. Essa metodologia permite a colaboração eficiente entre profissionais, a integração de disciplinas e a tomada de decisões mais informadas." [10]. Posteriormente, foi feita novamente a pergunta: "Você está familiarizado com o termo BIM e consegue identificar alguma atividade específica em sua organização/projeto relacionada ao seu uso?" Assim, 65,8% deles responderam "sim" a essa pergunta, foram encaminhados para a seção 3.

O objetivo da seção 3, com a pergunta "A sua organização/projeto atualmente usa o BIM?", era identificar se as empresas ou projetos nos quais os entrevistados estavam inseridos utilizavam o BIM. Nesse sentido, 60,5% responderam "sim" e foram encaminhados à seção 4. Os 39,5% que responderam "não" foram encaminhados para a seção 5.

A seção 4 buscou para identificar as dificuldades que a organização/projeto tem ou teve com o uso do BIM e o nível do seu uso. As respostas indicam o uso do BIM de forma superficial com uso para projetar, levantar quantitativos e compatibilizar projetos, apenas uma pequena parte adentra mais a fundo no seu uso para orçamentação e produção de cronograma (Gráfico 4). Dados nacionais indicaram em pesquisa o uso do BIM para projetos por 93,9% dos entrevistados, 80,2% uso para planejamento, 49% para construção e 26,2% para operação [13].

Gráfico 4

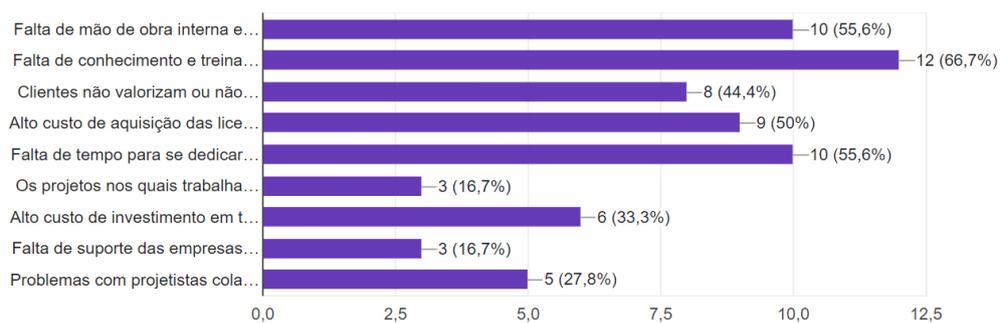
Indique os principais usos do BIM na sua organização/projeto atualmente.



No cenário nacional, pesquisas apontam que os altos custos dos softwares, a escassez de treinamento, o baixo conhecimento sobre alternativas aos softwares BIM disponíveis no mercado, a falta de equipes capacitadas e a ausência de tempo para autodesenvolvimento são algumas das principais barreiras ao uso do BIM [13]. No contexto local do Distrito Federal, a pesquisa também indicou que a falta de treinamento pode ser uma das causas desse uso superficial (Gráfico 5), o que reflete um baixo nível de conhecimento sobre o BIM nas equipes.

Gráfico 5

Quais são ou foram os principais desafios na implementação do BIM em sua organização?



A seção 5 teve como objetivo identificar se os entrevistados utilizavam o BIM em suas atividades profissionais, com 49,6% declarando afirmativamente. Os que afirmaram utilizar o BIM foram direcionados à seção 6 para uma discussão detalhada sobre os desafios enfrentados na adoção e implementação do BIM.

Os resultados da seção 6 indicaram, mais uma vez, um uso superficial do BIM, com a maioria limitando-se à elaboração de projetos, compatibilização e levantamento de quantitativos, sendo que cerca de 66,7% dos usuários utilizam principalmente o BIM em 3D. Além disso, a maioria dos respondentes (66,7%) demonstrou interesse em treinamento, embora com uma frequência baixa.

A seção 7 teve como objetivos principais identificar os obstáculos enfrentados pelos entrevistados ao ingressarem no universo do BIM e compreender suas perspectivas sobre o futuro dessa tecnologia. Foram incluídas perguntas sobre os fatores que impedem a implementação do BIM na carreira ou na organização/projeto dos entrevistados, qual setor da construção civil se beneficiaria mais com a adoção em larga

escala do BIM e uma estimativa de quando o BIM substituirá predominantemente o processo de design em 2D. Além disso, a seção solicitou o consentimento dos entrevistados para o envio de um resumo dos resultados da pesquisa e ofereceu a oportunidade de compartilhar comentários, sugestões ou outras informações adicionais. Os resultados apontaram os principais desafios e obstáculos que os profissionais encontram ao implementar e utilizar o BIM em suas carreiras ou organizações/projetos (Gráfico 6). Dentre esses desafios, destacam-se: desconhecimento sobre os benefícios do BIM (34,2%), falta de interesse ou oportunidade em adotar novas tecnologias (34,2%) e dificuldade em se adaptar a novas ferramentas e processos (44,7%). No mesmo sentido, a pesquisa nacional de 2022 [13] também destacou a falta de recursos financeiros, incertezas sobre a adoção do BIM e ações de gestão das empresas como fatores que afetam a adoção do BIM.

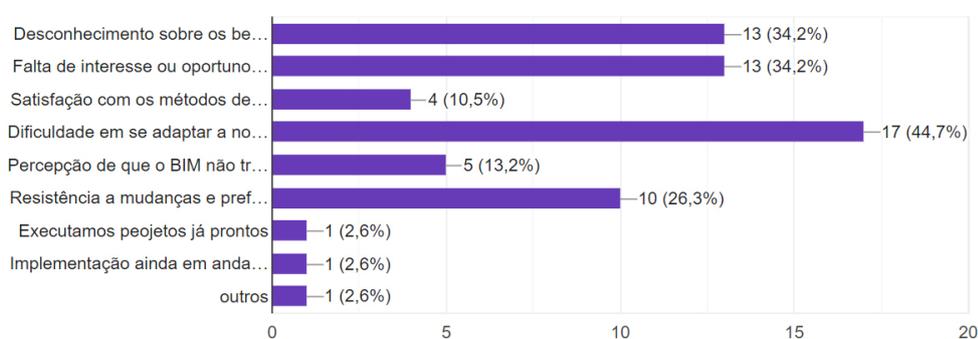


Gráfico 6

Quais dos seguintes fatores você considera que têm impedido a implementação do BIM em sua carreira ou na organização/projeto em que está envolvido(a)?

5. Conclusão

Considerando os desafios e oportunidades revelados pela pesquisa sobre digitalização na arquitetura e urbanismo, é essencial que os profissionais e as instituições do setor estejam preparados para enfrentar as demandas da era digital. A transformação digital não se resume apenas à adoção de novas tecnologias, mas também requer uma reavaliação dos processos de trabalho e o desenvolvimento de novas habilidades. Nesse sentido, a capacitação e o apoio contínuo são fundamentais para garantir que os profissionais estejam preparados para os desafios futuros. Além disso, a colaboração entre os diversos atores do setor, como associações, entidades de classe, empresas e órgãos governamentais, é crucial para impulsionar a digitalização e promover uma transformação eficaz e sustentável na arquitetura e urbanismo no Brasil.

Os resultados da pesquisa revelam que a adoção do BIM no Distrito Federal ainda enfrenta desafios significativos, como a falta de conhecimento e capacitação, a escassez de recursos financeiros e a resistência cultural à mudança. No entanto, os participantes demonstraram otimismo em relação ao aumento da adoção do BIM, acreditando que empresas de todos os portes serão as mais beneficiadas. Essa perspectiva positiva sugere que os profissionais da área estão conscientes dos benefícios do BIM e desejam incorporá-lo em suas práticas.

Para superar os obstáculos identificados, é fundamental adotar estratégias inovadoras e soluções desenvolvidas em outros países, adaptadas à realidade local. A colaboração entre profissionais, empresas e instituições, aliada a programas de formação, busca de financiamento e ações de sensibilização, pode impulsionar a adoção do BIM e trazer avanços significativos para a indústria da construção no Distrito Federal.

Em resumo, embora existam desafios a serem enfrentados, os resultados da pesquisa indicam que há oportunidades e soluções potenciais para promover a adoção e implementação do BIM no Distrito Federal. O estudo oferece informações valiosas para orientar ações e iniciativas futuras, contribuindo para a melhoria contínua da utilização do BIM na região local e para o avanço da indústria da construção como um todo.

Referências

- [1] Carmona, F. V. F., & Carvalho, M. T. M. (2017). Caracterização da utilização do BIM no DF. *Ambiente Construído*, 17(4), 385-401. ISSN 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400203>.
- [2] Viana, V. L. B., Carvalho, M. T. M. (2021). Prioritization of risks related to BIM implementation in Brazilian public agencies using fuzzy logic. *Journal of Building Engineering*, 36, 102104. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102104>.
- [3] Zaini, A. A., Razali, A. W., Gui, H. C., Zaini, N., & Tamjehi, S. D. (2020). Assessing Strategies of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Sarawak Construction Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 498, 012086. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/498/1/012086>.
- [4] Abbasnejad, B., Nepal, M. P., Ahankoob, A., Nasirian, A., & Drogemuller, R. (2020). Building Information Modelling (BIM) adoption and implementation enablers in AEC firms: a systematic literature review. *Architectural Engineering and Design Management*. <https://doi.org/10.1080/17452007.2020.1793721>.
- [5] ARROTÉIA, A.V.; FREITAS, R.C.; MELHADO, S.B. Barriers to BIM Adoption in Brazil. *Frontiers in Built Environment*, [s.l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.520154>.
- [6] CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2016). Fundamentos BIM – parte 1: implantação do BIM para construtoras e incorporadoras. Brazil. <https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/> (Accessed November 08, 2020).
- [7] MIETTINEN, R.; PAAVOLA, S. Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.03.009>.

- [8] MUNIANDAY, Praveena; RAHMAN, Rahimi A.; ESA, Muneera. Case study on barriers to building information modelling implementation in Malaysia. *Journal of Facilities Management*, 2022. DOI: 10.1108/JFM-10-2021-0132.
- [9] Chesnokova, E. A., Khokhlova, V. V., Ponyavina, N. A., & Chesnokov, A. S. (2020). Problems of the implementation of BIM technologies in Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 972(1), 012038. doi:10.1088/1757-899X/972/1/012038.
- [10] Paixão, L. (s.d.). BIM: 10 razões para conhecer este processo de construção. *A arquitetura by Luciana Paixão*, 2023. Recuperado de <https://www.aarquitectura.com.br/blog/o-que-e-bim/>. Acessado em 02/07/2023.
- [11] MATOS, Cleiton Rocha de; MIRANDA, Antonio Carlos de Oliveira. The use of BIM in public construction supervision in Brazil. *Organization, Technology and Management in Construction*, 2018. DOI: 10.2478/otmcj-2018-0007.
- [12] Bim Forum Brasil. (2023). Pesquisa Cenário Construtivo Brasileiro 2023 revela que é crescente o uso de BIM. Atualizado: 29 de jun. de 2023. Portal Datacenter Dynamics. <https://www.bimforum.org.br/post/pesquisa-cen%C3%A1rio-construtivo-brasileiro-2023-revela-que-%C3%A9-crescente-o-uso-de-bim>.
- [13] Bim Forum Brasil. (2022). Resultados da Pesquisa sobre Digitalização das Engenharias no Brasil. Atualizado: 9 de set. de 2022. Portal Datacenter Dynamics. Recuperado de <https://www.bimforum.org.br/post/resultados-da-pesquisa-sobre-digitaliza%C3%A7%C3%A3o-das-engenharias-no-brasil>.

Previsão da conformidade de projetos de construção pública em Portugal com recurso a aprendizagem automática

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.36>

**Luís Jacques de Sousa¹,
João Poças Martins², Luís Sanhudo³**

¹ *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto;
BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0002-0789-9368*

² *CONSTRUCT, FEUP-DEC, 4200-465 Porto;
BUILT CoLAB, 4150-003 Porto, 0000-0001-9878-3792*

³ *BUILT CoLAB, 4150-003 Porto;
CONSTRUCT, 4200-465 Porto, 0000-0002-2578-6981*

Resumo

Os projetos de adjudicação públicos são influenciados e decididos de acordo com um conjunto de fatores como o preço base, o prazo de submissão, o número de proponentes, entre outros. Estes fatores podem ter impacto na conformidade orçamental do projeto.

Tradicionalmente a previsão da conformidade orçamental em projetos de construção tem demonstrado ser um grande desafio devido à imprevisibilidade característica de projetos de construção. Não obstante, as técnicas de aprendizagem de máquinas podem oferecer importantes ferramentas de apoio a decisão, através de previsões de conformidade com base em dados históricos.

Aplicações anteriores de aprendizagem de máquinas centraram-se em previsões do custo total da obra com base em dados privados da fase de execução dos projetos, salvo algumas exceções. Neste sentido, este estudo introduz um modelo de aprendizagem de máquinas automática que utiliza dados abertos da fase de adjudicação para prever a conformidade económica de projetos de construção pública. O modelo prevê o cumprimento do orçamento através da análise de diferentes características dos contratos de projetos públicos. Este estudo explora várias arquiteturas de algoritmos e técnicas de tratamento de dados para escolher o modelo com melhor

desempenho com o objetivo de auxiliar o dono de obra na definição os requisitos do concurso.

Ferramentas de aprendizagem de máquinas podem assim fornecer aos donos de obra informações sobre os critérios mais adequados para cada situação com base em projetos semelhantes, ajudando na tomada de decisões. Estudos futuros devem avaliar o impacto e a capacidade do modelo no fluxo de trabalho das adjudicações públicas.

1. Introdução

O processo de adjudicação de obras públicas em Portugal envolve a seriação propostas com base em fatores económicos, temporais e de qualidade. Estas decisões têm impacto significativo no desempenho da obra e são vinculativas contratualmente, ainda assim, estas são muitas vezes feitas em prazos apertados. Neste sentido, ferramentas de apoio à decisão podem auxiliar o dono de obra na escolha do adjudicatário de um projeto de construção [1, 2].

Devido à complexidade e falta de normalização dos documentos de projetos de construção [3], prever com precisão o cumprimento do orçamento nas fases iniciais de projetos tem sido desafiador [4, 5]. No entanto, o desenvolvimento de aplicações com recursos a inteligência artificial pode mudar este paradigma. De facto, estudos recentes no âmbito da indústria AEC têm aplicado diferentes algoritmos de Machine Learning (ML) em diferentes fases do processo de construção [6]. Ainda assim, o setor AEC, quando comparado a setores análogos, é um dos que menos tem adotado estas técnicas [7]. A baixa adoção destas ferramentas deve-se por um lado por razões culturais e técnicas e por outro a vasta diversidade de projetos em Construção [5]. A previsão do orçamento durante a fase de adjudicação é crucial, pois orçamentos mais realistas podem melhorar a eficiência e produtividade, evitando suborçamentação [8].

Estudos anteriores utilizaram diversos modelos de ML para prever orçamentos em projetos de construção [9, 10]. A precisão deste modelos encontra-se geralmente em torno de 90%, ou, com um erro percentual médio absoluto (MAPE) de 20% [11]. A literatura destaca a variabilidade nos dados, indicando que não há correlação evidente entre o número de projetos e o desempenho dos modelos [6]; apesar disso, modelos holísticos exigirão sempre conjuntos de dados extensos devido à natureza dos algoritmos de ML. Para a implementação destes modelos no setor AEC, devem ser recolhidas amostras significativas de dados para treinar os algoritmos [6].

Adicionalmente, a grande maioria das aplicações ML para a previsão de orçamentos de construção utilizaram dados privados da fase de execução da construção [6]. Ainda assim, investigação semelhante recente utilizou informações de contratação acessíveis ao público para prever o preço base de concursos [12] e identificar possíveis colusões em contratos [13].

Analogamente, este estudo desenvolve um modelo de previsão do cumprimento do orçamento em projetos de obras públicas, utilizando dados da fase de adjudicação. O objetivo deste estudo é testar a forma como os algoritmos de previsão de conformidade podem apoiar as decisões dos técnicos de contratação, através da previsão da probabilidade de o projeto cumprir o orçamento.

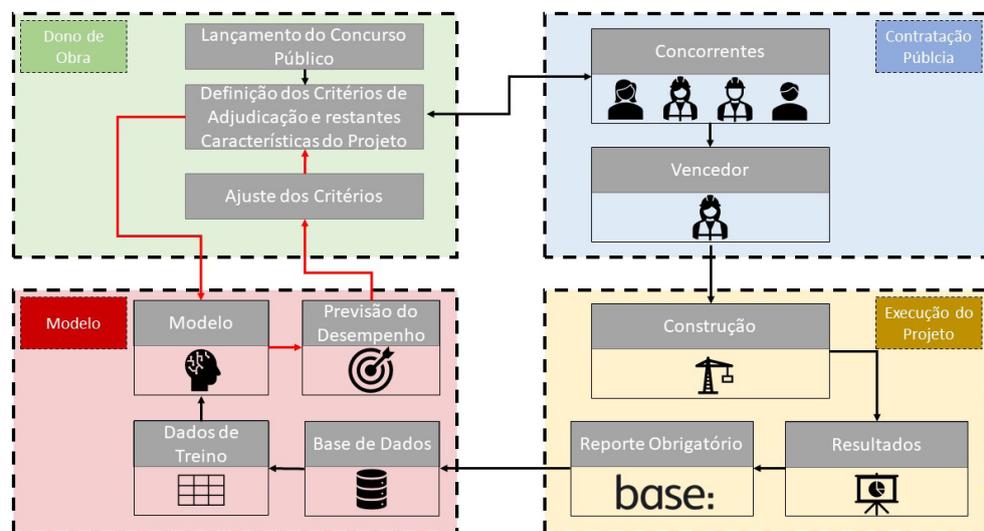
2. Metodologia

O processo de contratação para um projeto de obras públicas em Portugal inicia após a sua aprovação. Nessa fase, o dono de obra deve determinar características como preço base, prazo de submissão, critério de adjudicação, entre outros fatores, e publicar o anúncio do procedimento em repositórios abertos [14]. Estas características, afetam a forma como as propostas serão elaboradas por parte dos empreiteiros gerais interessados.

Após a seleção do adjudicatário, o projeto de construção é realizado, produzindo resultados financeiros. Estes resultados, bem como a restante informação têm de ser obrigatoriamente submetidos na plataforma de dados aberta Portal Base [15]. Este modelo aproveita a obrigação de reporte em repositórios abertos para usar esses dados como dados de treino.

Como demonstra a Figura 1, este modelo apoia a decisão dos donos de obra relativa a seleção dos critérios de adjudicação do projeto, através da previsão do cumprimento do orçamento, com base no desempenho de projetos anteriores com características semelhantes. Assim, conforme a previsão do modelo, o dono de obra pode alterar ou manter os critérios de adjudicação.

Figura 1
Implementação do modelo no processo de contratação pública.



Todo o código usado para conceber as diferentes arquiteturas testadas foi desenvolvido em Python usando as bibliotecas de ML, Keras e Sklearn [16, 17].

Os seguintes capítulos ilustram a abordagem experimental deste trabalho no qual se insere uma fase de tratamento de dados (incluindo uma análise exploratória de dados e a seleção das características), uma fase de testagem de modelos e por fim a discussão dos resultados.

3. Tratamento de dados

3.1. Proveniência e tratamento de dados

A qualidade e quantidade de dados é crucial para o desenvolvimento de aplicações ML e representam o maior desafio conceptual para a implementação destas tecnologias em Construção. No entanto, apenas recentemente a importância da gestão e armazenamento de dados foi reconhecida pelo setor AEC havendo a publicação de alguns trabalhos que partilham bases de dados abertas preparadas para suportar aplicações de ML [18, 19]. Neste sentido, este estudo utilizou dados provenientes da base de dados Portuguese Public Procurement Database (PPPData), que inclui mais de 5000 contratos de públicos provenientes do Portal Base e do Diário da República Eletrónico e que estão caracterizados por 37 propriedades distintas de 2015 a 2022 [18, 19].

Para encontrar um equilíbrio entre a quantidade de dados usados para treinar o algoritmo e o número de características optou-se pela seleção das 12 características apresentadas na Tabela 1.

Esta redução do número de características permitiu eliminar apenas 442 contratos devido à exclusão de valores omissos, restando 4772 contratos. A característica "Código CPV" exigiu a utilização do codificador LabelEncoder do Sklearn [16] para transformar esta característica, de valores não numéricos, em valores numéricos. Além disso, a característica "Critério Ambiental" foi transformada numa variável binária (ou seja, 0 e 1) a partir do seu formato lógico anterior. Por último, a característica-alvo "Desempenho" foi adaptada a um formato categórico. Não foram necessários esforços adicionais de normalização, uma vez que a base de dados já se encontrava num formato estruturado.

Tabela 1: Características do modelo

Nome	Descrição	Formato	Unidade de Medição
Código CPV	Código "Common procurement vocabulary". Exclusivamente códigos de Construção	String	N/A
Critério Ambiental	Se o critério ambiental foi considerado no concurso (TRUE-FALSE)	Lógico	N/A
Ano de Publicação	Ano de publicação do concurso no Portal Base	Data	N/A
Distrito	Local de execução do projeto. Código de identificação do distrito, organizado alfabeticamente e numerado de 1 a 20	Inteiro	N/A
Prazo de Submissão	Prazo para a aceitação dos pedidos de propostas	Inteiro	Dias
Prazo de Execução	Prazo para a conclusão do projeto	Inteiro	Dias
Preço Base	O montante máximo que o cliente está disposto a pagar pela execução do projeto.	Moeda	€
Preço Inicial	O preço inicial acordado entre o dono de obra e o vencedor do concurso.	Moeda	€
Categoria do Preço Inicial	Classe atribuída ao preço inicial: (1) – Entre 0 e 250 mil, (2) – Entre 250 mil e 1 milhão, (3) – Mais de 1 milhão	Inteiro	N/A
Critério de Adjudicação	Os critérios de adjudicação utilizados para selecionar o vencedor, tal como indicado nos documentos do concurso. (1) – Critério Multifactor, (2) – Critério do preço mais baixo, (0) – Critério de adjudicação em falta	Inteiro	N/A
Peso do Preço no Critério de Adjudicação	A ponderação dada ao fator preço nos critérios de adjudicação	Porcentagem	N/A
Número de Concorrentes	Número de proponentes no concurso	Inteiro	N/A
Nome da característica alvo	Descrição	Formato	Unidade de Medição
Desempenho	A classe atribuída ao resultado do projeto: Deslize de preço: Preço Efetivo/ Inicial \geq 105% Conformidade de preço: 95% < Preço Efetivo/ Inicial < 105% Poupança de preço: Preço Efetivo/ Inicial \leq 95%	Inteiro	N/A

Adicionalmente, estudos estatísticos aplicados ao PPPData demonstram um grande desequilíbrio relativamente à classe "Desempenho". De facto, depois do tratamento dos dados, verificou-se essa mesma distribuição desequilibrada, com a classe de conformidade de preços a registar 3290 contratos, a de deslize de preços a registar 794 contratos e a de poupança de preços a registar 688 contratos. Assim, para equilibrar este conjunto de dados e atenuar a influência da assimetria nos resultados, foram testadas três técnicas de balanceamento diferentes: Oversampling [20]; Class weights balancing; Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) [21]. Assim, foi efetuado um teste utilizando o algoritmo Adam [22] para comparar as diferentes técnicas de balanceamento de dados. Foi definida uma configuração fixa para o algoritmo, a fim de os comparar a sua precisão e eficiência entre cada um dos conjuntos de dados equilibrados. Embora não exista uma configuração universalmente

estabelecida para este modelo, umas das configurações mais utilizadas neste algoritmo e a usada para este teste incluiu uma divisão treino-teste de 0,33, um tamanho de série (“batch”) de 32 e 50 épocas (“epochs”). A Tabela 2 apresenta os resultados.

Tabela 2: Métricas de performance dos testes de balanceamento de dados

Técnica	Médias Macro			Loss de Validação	Exatidão de Validação	Tempo de Computação (s)
	Precisão	Recall	F1-score			
Oversampling	0.75	0.77	0.76	0.29	0.82	9.9
Class Weights	0.82	0.70	0.74	0.36	0.76	11.2
SMOTE	0.85	0.85	0.85	0.25	0.85	19.6

A partir da Tabela 2 percebe-se que a estratégia de Class weights balancing é a técnica com os piores resultados. As técnicas de Oversampling e SMOTE obtiveram resultados semelhantes; no entanto, apesar de o método de Oversampling efetuar as 50 epochs em menos tempo do que o método SMOTE, este teve uma melhoria de 0,03 na precisão da validação. Relativamente aos resultados das médias macro, o método SMOTE obteve os melhores resultados entre as três técnicas.

Com o intuito de esclarecer qual dos dois métodos se adapta melhor para resolver este problema, foi analisada a precisão ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 2.

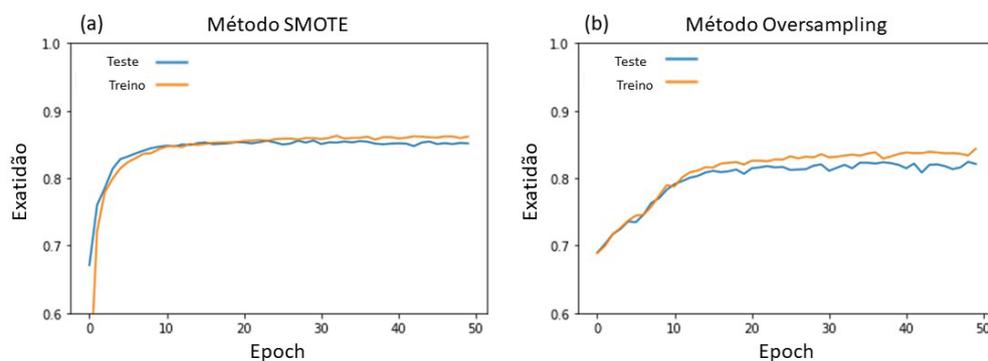


Figura 2
Desempenho do método SMOTE vs Oversampling.

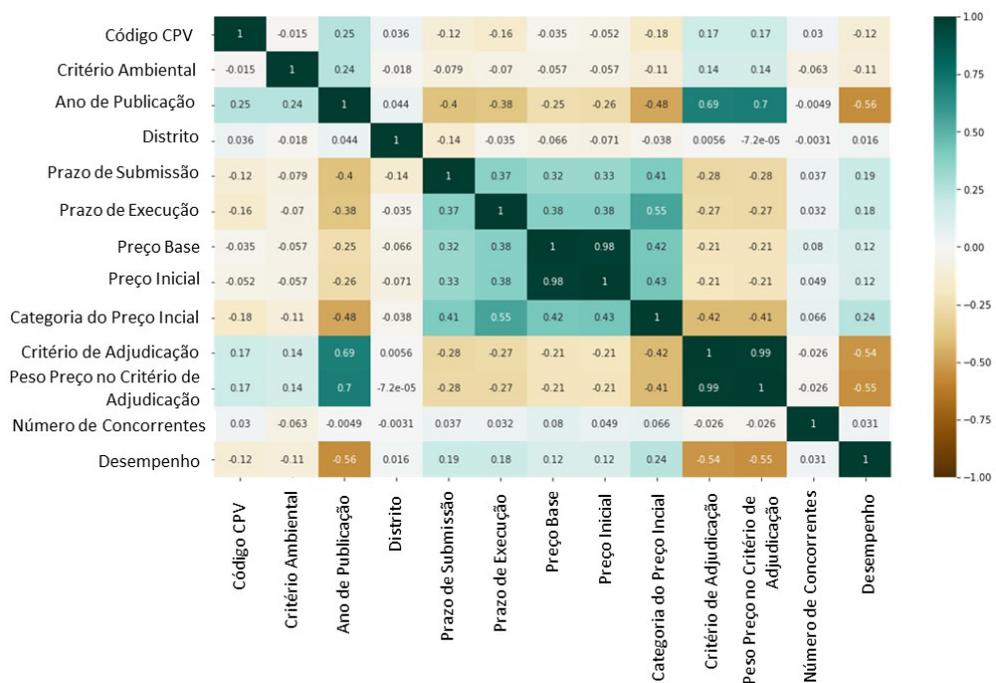
Comparando a curva da Figura 2a e 2b, verifica-se que o método SMOTE obteve uma curva de treino suave, indicando maior estabilidade comparando com método Oversampling. Além disso, o SMOTE atinge uma exatidão máxima mais cedo do que o método de Oversampling (aproximadamente 85% de exatidão de validação em dez epochs, em comparação com 82% de exatidão de validação em 22 epochs para o método de Oversampling). Devido a todos estes fatores, o método SMOTE foi aplicado para equilibrar o conjunto de dados deste problema.

3.2. Análise de dados exploratória e seleção de características

Após o tratamento dos dados, de forma a perceber quais variáveis se sobrepõem umas às outras e quais são irrelevantes para a previsão e podem ser descartadas efetuaram-se dois testes: um teste de correlação e uma análise de importância de características.

A Figura 3 apresenta um mapa de correlação entre as características. Quando a correlação é próxima de 1 ou -1, é alta; quando é próxima de 0, é baixa. Os números negativos representam correlações inversas. O mapa mostra que existem grupos de características com correlações significativas no conjunto de dados equilibrado. Por exemplo, existe uma correlação elevada entre o "Critérios de Adjudicação" e o "Peso do Preço no Critério de Adjudicação" (0,99). Além disso, as características "Preço base" e "Preço inicial" também estão intimamente relacionadas (0,98). A Figura 3 mostra ainda que o "Desempenho" está principalmente relacionado com o "Ano de Publicação", o "Critério de Adjudicação" e o "Peso do Preço no Critério de adjudicação". Além disso, as características menos correlacionadas com o "Desempenho" são o "Distrito" e o "Número de Concorrentes".

Figura 3
Mapa de correlações entre variáveis.



A análise exploratória dos dados permitiu a seleção das características a considerar para o modelo. No entanto, esta análise não deve ser considerada de forma exclusiva, assim, para compreender melhor o impacto das características no modelo, foi efetuada uma análise da importância de características utilizando o método Random Forest [23], nomeadamente, a importância com base na impureza e a importância através da permutação [24].

Neste estudo, o algoritmo Random Forest do Scikit-learn foi implementado para obter a importância das características utilizando a classe RandomForestClassifier. Depois de treinar o modelo, a classe fornece uma propriedade incorporada (`feature_importances_`) que define a pontuação de importância relativa de cada característica de entrada.

Analogamente, a importância da característica através da permutação utilizou o classificador Random Forest para obter a importância da característica através da permutação dos dados de treino com o conjunto de validação. A análise das características através da permutação permite calcular as pontuações de importância relativa independentemente do modelo utilizado, o que é vantajoso do ponto de vista da comparação com o método baseado na impureza.

Os resultados da análise da importância das características são apresentados na Figura 4, onde as características mais relevantes são ordenadas da esquerda para a direita e uma linha de limite (a vermelho), fixada a 95%, foi colocada de modo a intersectar a soma cumulativa da importância das características mais relevantes. Ambos os métodos destacam o "Ano de Publicação" como a característica de maior impacto para a previsão. O "Critérios de atribuição" foi a segunda característica mais relevante para a classificação em ambos os testes de importância. A ordem de importância das restantes características difere de um método para outro; apesar disso, algumas características podem ser selecionadas por serem relevantes em ambos os testes. Entre estas características, o "Peso do Preço no Critério de Adjudicação", o "Preço inicial", o "Preço Base", o "Número de Concorrentes", o "Prazo de Submissão" e "Prazo de Execução" são destacados como significativos em ambos os testes.

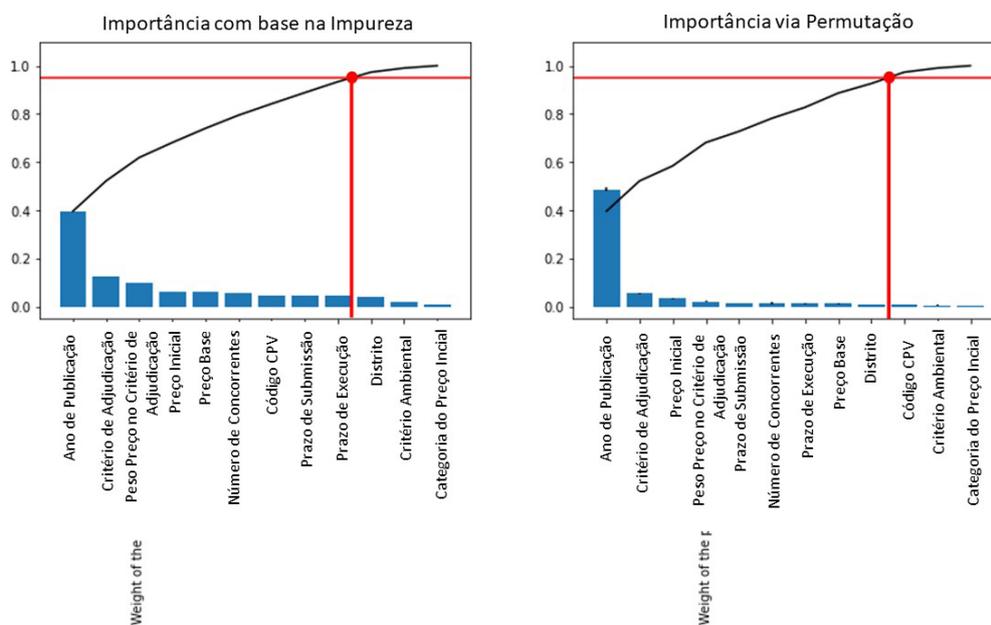


Figura 4
Resultados da análise de importância das variáveis.

Tendo em conta as correlações entre variáveis, a análise de importância das características e a natureza do processo de contratação da construção, foram selecionadas oito características entre as doze disponíveis. O "Ano de Publicação" foi selecionado por ter sido considerado o elemento com maior impacto. O "Critério de Adjudicação" e o "Preço Base" foram escolhidos por poderem ser personalizados no momento da publicação do anúncio de concurso, em detrimento do "Peso do Preço no Critérios de Adjudicação" e do "Preço Inicial", por estarem significativamente correlacionados. Por fim, o "Prazo de Submissão", o "Prazo de Execução", o "Número de Concorrentes", o "Código CPV" e o "Distrito" completaram o grupo de características selecionadas, descartando as restantes.

4. Seleção de modelos

Uma revisão da literatura sobre a utilização do ML para prever o cumprimento do orçamento não mostra consenso sobre qual tipo de algoritmo conduz a resultados ótimos [6]. Os resultados de cada arquitetura estão muito relacionados com os dados que compõem o modelo. Para tal, devem ser testados diferentes algoritmos de modo a encontrar a melhor solução para cada tipo de aplicação. Neste contexto, foram testados os seguintes algoritmos de forma a selecionar o que melhor se adequa a este estudo: (1) Adam ANN; (2) Random Forest; (3) SVM; (4) Extreme Gradient Boosting (Xgboost);(5) K-nearest Neighbours (KNN).

Todos os algoritmos foram desenvolvidos em Python, utilizando as bibliotecas Keras e Scikit-learn. Todos os métodos foram submetidos a rigorosos estudos de experimentação para obter a melhor configuração possível. A Tabela 3 demonstra as definições de cada algoritmo na sua configuração com melhor desempenho e compara os resultados de cada modelo. Todos os modelos utilizaram um train/test split de 0,33.

Tabela 3: Resultados do Teste dos Algoritmos

Algoritmo	Hiperparâmetros	Resultados				
		Exatidão de Treino	Exatidão de Teste	Precisão	Recall	F1-Score
Adam ANN	Uma input layer, uma hidden layer e uma output layer, Input layer with 8 nodes, Hidden layer with 16 nodes, Output layer with 3 nodes, Kernel initialiser = Glorot uniform, Activation function = Rectified Linear Unit (RELU), Batch size = 32, Epoch = 100. (Plateau depois de 40)	0.875	0.855	0.853	0.852	0.851
Random Forest	GridSearchCV: Bootstrap = False, Maximum depth = 4, Maximum features = sqrt, Minimum samples leaf = 2, Minimum samples split = 2, Number of estimators = 33.	0.842	0.832	0.830	0.866	0.846
SVM	RandomSearchCV, C=10, Gamma=1, Kernel = Radial Basis Function	0.982	0.884	0.883	0.882	0.882
Xgboost	GridSearchCV: Booster = gbtree, Maximum delta step = 0, Maximum depth = 9, Minimum child weight = 1, Number of estimators = 64, Sampling method = uniform	0.999 (sobrea-juste)	0.896	0.917	0.909	0.913
KNN	GridSearchCV: metric='euclidean' n_neighbors=1000, weights='distance'	1 (sobrea-juste)	0.750	0.748	0.766	0.719

Como visto na Tabela 3, o método KNN teve um desempenho fraco, apresentando sobreajuste aos dados durante o treino e resultados de validação baixos, o que levou à sua exclusão. Do mesmo modo, os métodos XGBoost e SVM revelaram tendência para o sobreajuste e foram igualmente excluídos. Os modelos Adam e Random Forest obtiveram uma exatidão de validação de cerca de 85%, com o algoritmo Adam a ter um desempenho ligeiramente superior.

Numa análise secundária foi excluída a característica "Ano de Publicação" e a precisão dos dois melhores algoritmos da análise anterior foi testada. Esta medida foi tomada por duas razões: (1) para avaliar a influência desta variável no desempenho do algoritmo e (2) porque o dono de obra não pode personalizá-la durante a configuração dos critérios do concurso público.

Como visto na Tabela 4, a remoção desta variável resultou numa queda de 20% na precisão de ambos os algoritmos. Apesar disso, o Adam continuou a ter o melhor desempenho e o Random Forest mostrou forte consistência entre as fases de treino e validação. Ambos os algoritmos atingiram uma precisão de aproximadamente 65%, que foi considerada realista para algoritmos de apoio à configuração de concursos públicos.

Tabela 4: Resultados do 2.º Teste de Algoritmos

Algoritmo	Hiperparâmetros	Resultados				
		Exatidão de treino	Exatidão de Teste	Precisão	Recall	F1-Score
Adam ANN	Uma input layer, uma hidden layer e uma output layer, Input layer with 7 nodes, Hidden layer with 14 nodes, Output layer with 3 nodes, Kernel initialiser = Glorot uniform, Activation function = Rectified Linear Unit (RELU), Batch size = 32, Epoch = 100. (Plateau depois de 40)	0.679	0.683	0.681	0.675	0.671
Random Forest	GridSearchCV: Bootstrap = True, Maximum depth = 4, Maximum features = sqrt, Minimum samples leaf = 1, Minimum samples split = 2, Number of estimators = 10.	0.622	0.618	0.615	0.764	0.660

5. Discussão dos resultados e conclusão

Este estudo visou criar um modelo de previsão de conformidade financeira para contratos públicos em Construção, empregando o PPPData, aplicando o caso de estudo a contratos em Portugal. O método SMOTE foi escolhido para equilibrar o conjunto de dados.

Uma análise estatística das variáveis de entrada não revelou correlação direta entre a escolha de um critério de adjudicação específico e o cumprimento do orçamento. Além disso, não houve correlação identificada entre a extensão dos prazos de apresentação e a melhoria do desempenho do projeto. Essas conclusões destacam a complexidade da previsão do orçamento nas fases iniciais do projeto, dada a

variabilidade no desempenho dos contratos de construção, o que constitui um desafio significativo.

Doze variáveis, identificadas através de análises de correlação e de importância, orientam o treino do modelo. Os algoritmos Adam ANN e Random Forest foram identificados como adequados ao problema de classificação com uma precisão de validação de cerca de 85%.

No segundo teste, excluindo a variável "Ano de Publicação", o algoritmo Adam ANN demonstrou o melhor desempenho para este problema, estabelecendo uma precisão de referência de 68% para ferramentas de apoio à decisão em concursos públicos na construção.

Os resultados deste estudo provam que o ML não consegue prever com precisão a taxa de conformidade dos projetos de construção. Embora os resultados dos algoritmos possam nem sempre ser mais precisos do que os obtidos por humanos, a vantagem notável reside na sua capacidade de fornecer previsões numa fração de tempo em comparação com um técnico. Além disso, proporciona aos decisores justificações com base em dados históricos. Este aspeto sublinha a sua eficácia como ferramentas valiosas durante o processo de definição dos critérios de aquisição

Os estudos futuros devem procurar expandir a base de dados com dados provenientes de outros países, aumentar o número de características de entrada, melhorar a precisão e analisar os impactos deste modelo na eficiência destes processos.

Referências

- [1] M. S. A. Aman and S. Azeanita, "Building Information Modelling for Project Cost Estimation," *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 621-630, 12/04 2021.
- [2] S. Moon, S. Chi, and S.-B. Im, "Automated detection of contractual risk clauses from construction specifications using bidirectional encoder representations from transformers (BERT)," *Automation in Construction*, vol. 142, p. 104465, 2022/10/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104465>.
- [3] J. P. d. S. P. Martins, "Modelação do fluxo de informação no processo de construção: aplicação ao licenciamento automático de projectos", no. Porto, 2009.
- [4] P. Jafari, M. Al Hattab, E. Mohamed, and S. Abourizk, "Automated extraction and time-cost prediction of contractual reporting requirements in construction using natural language processing and simulation," *Applied Sciences (Switzerland)*, Article vol. 11, no. 13, 2021, Art no. 6188, doi: [10.3390/app11136188](https://doi.org/10.3390/app11136188).
- [5] H. Elhegazy *et al.*, "Artificial Intelligence for Developing Accurate Preliminary Cost Estimates for Composite Flooring Systems of Multi-Storey Buildings," *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2021, doi: [10.1080/13467581.2020.1838288](https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1838288).

- [6] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, J. Santos Baptista, and L. Sanhudo, "Towards the Development of a Budget Categorisation Machine Learning Tool: A Review," in *Trends on Construction in the Digital Era*, Guimarães, Portugal, A. Gomes Correia, M. Azenha, P. J. S. Cruz, P. Novais, and P. Pereira, Eds., 2023// 2023: Springer International Publishing, pp. 101-110, doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4>.
- [7] D. Chen, L. Hajderanj, and J. Fiske, "Towards automated cost analysis, benchmarking and estimating in construction: A machine learning approach," in *Multi Conference on Computer Science and Information Systems, MCCSIS 2019 – Proceedings of the International Conferences on Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2019 and Theory and Practice in Modern Computing 2019*, 2019, pp. 85-91, doi: 10.33965/bigdaci2019_2019071011. [Online].
- [8] S. Kerridge and C. Halaris, *SupplyPoint: An integrated system supporting E-business in the Construction Sector*. 2001.
- [9] N. Suneja, J. P. Shah, Z. H. Shah, and M. S. Holia, "A neural network approach to design reality oriented cost estimate model for infrastructure projects," *Reliability: Theory and Applications*, Article vol. 16, pp. 254-263, 2021. [Online].
- [10] X. Y. Jiang, N. Y. Pa, W. C. Wang, T. T. Yang, and W. T. Pan, "Site Selection and Layout of Earthquake Rescue Center Based on K-Means Clustering and Fruit Fly Optimization Algorithm," in *2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications (ICAICA)*, 27-29 June 2020 2020, pp. 1381-1389, doi: 10.1109/ICAICA50127.2020.9182505.
- [11] M. Juszczak, "Development of Cost Estimation Models Based on ANN Ensembles and the SVM Method," *Civil And Environmental Engineering Reports*, vol. 30, no. 3, pp. 48-67, 2020, doi: 10.2478/ceer-2020-0033.
- [12] M. J. García Rodríguez, V. Montequín, F. Ortega-Fernández, and J. Balsera, "Bidders Recommender for Public Procurement Auctions Using Machine Learning: Data Analysis, Algorithm, and Case Study with Tenders from Spain," *Complexity*, vol. 2020, 11/25 2020, doi: 10.1155/2020/8858258.
- [13] M. J. García Rodríguez, V. Rodríguez-Montequín, P. Ballesteros-Pérez, P. E. D. Love, and R. Signor, "Collusion detection in public procurement auctions with machine learning algorithms," *Automation in Construction*, vol. 133, p. 104047, 2022/01/01/ 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104047>.
- [14] R. Portuguesa. "Diário da República Electrónico." <https://dre.pt/dre/home> (accessed 2023).
- [15] I. d. M. P. d. I. e. d. C. (IMPIC). "Portal Base." <https://www.base.gov.pt/> (accessed 2023).
- [16] "Scikit-Learn." <https://scikit-learn.org/> (accessed August 2023).

- [17] "Keras." <https://keras.io/> (accessed August 2023).
- [18] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, and L. Sanhudo, "Base de dados: Contratação pública em Portugal entre 2015 e 2022," presented at the Construção 2022, Guimarães, Portugal, 2022.
- [19] L. Jacques de Sousa, J. Poças Martins, and L. Sanhudo, "Portuguese public procurement data for construction (2015-2022)," *Data in Brief*, vol. 48, p. 109063, 2023/06/01/ 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109063>.
- [20] J. Brownlee. "Tour of Data Sampling Methods for Imbalanced Classification." <https://machinelearningmastery.com/data-sampling-methods-for-imbalanced-classification/#:~:text=The%20simplest%20oversampling%20method%20involves,for%20Synthetic%20Minority%20Oversampling%20Technique.> (accessed 2023).
- [21] R. Blagus and L. Lusa, "SMOTE for high-dimensional class-imbalanced data," *BMC Bioinformatics*, vol. 14, no. 1, p. 106, 2013/03/22 2013, doi: [10.1186/1471-2105-14-106](https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-106).

Definição e controlo dos requisitos de informação BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.37>

**Andrijana Djukic¹, Bruno Caires²,
José Carlos Lino¹**

¹ *ISISE – Departamento de Engenharia Civil,
Universidade do Minho, Guimarães, Portugal*

² *BIMMS – BIM Management Solutions, Porto, Portugal*

Resumo

Num ambiente digital, a fiabilidade de todo o projeto depende diretamente da integridade do modelo BIM em termos de qualidade. Apesar da multiplicidade de ferramentas de verificação de modelos disponíveis, falta uma abordagem integrada da Garantia da Qualidade (QA) e do Controlo da Qualidade (QC) em BIM que apoie a entrega do projeto desde o seu início até à entrega, tendo em conta os usos, os requisitos e os padrões BIM da indústria.

A principal preocupação na obtenção da qualidade consiste em assegurar que o modelo BIM está em conformidade com os requisitos definidos pela parte contratante. No entanto, a investigação mostra que a definição inadequada dos requisitos e a conformidade do modelo com esses requisitos constituem um dos maiores obstáculos para uma colaboração eficaz.

Este trabalho centra-se na exploração dos métodos atualmente utilizados para a especificação de requisitos, melhorando simultaneamente as soluções para a definição e verificação da qualidade da troca de informações, tendo sido desenvolvido em ambiente profissional, na empresa BIMMS, com base num estudo de caso específico. É proposta uma metodologia abrangente de QA/QC para garantir a conformidade do modelo BIM com os requisitos específicos da entidade contratante. Os objetivos principais foram alcançados através da criação de uma ferramenta de Especificação de Requisitos que aborda a QA durante o processo de criação do modelo BIM e testando os procedimentos de verificação da QC através da verificação da conformidade do IDS, da utilização do IFCOpenShell e da aplicação da linguagem de programação visual Dynamo.

1. Introdução

A implementação BIM veio reformular o modelo de negócio tradicional de desenvolvimento de projetos e colaboração, centralizando toda a informação no modelo BIM, incluindo quer as características físicas quer a informação alfanumérica. Uma vez que todos os processos e a extração de vistas essenciais passaram para o modelo digital [1], é crucial garantir a sua qualidade. Um dos maiores problemas com a qualidade é a informação imprecisa, incompleta e inconsistente, que resulta na limitação dos usos BIM e na produção de resultados imprecisos que afetam todos os aspetos da tomada de decisões, planeamento e quantificação, entre outros usos. Por conseguinte, existe uma necessidade óbvia de implementar processos de Garantia da Qualidade (QA) e de Controlo da Qualidade (QC) no âmbito do fluxo de trabalho BIM. A melhoria tecnológica e as elevadas expectativas dos clientes aumentaram a procura do desenvolvimento de metodologias de QA e QC [2]. Atualmente, existem algumas soluções de software que integram algum nível de verificação da qualidade [3], no entanto, estas estão normalmente centradas na abordagem de aspetos específicos da qualidade, pelo que não abrangem a entrega de projetos tendo em conta todos os usos BIM, requisitos e partes interessadas ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. A implementação fragmentada dos processos de QA e QC conduz a ineficiências que envolvem muito trabalho manual ou semi-automatizado, desperdiçando valiosos recursos humanos e de tempo. Como tal, o principal objetivo deste estudo é propor uma metodologia que integre perfeitamente os procedimentos de QA e QC no fluxo de trabalho da empresa. A metodologia incluirá a QA através do estabelecimento de normas específicas do sector e da empresa e o QC através da verificação da conformidade do modelo com os requisitos predefinidos. Além disso, a metodologia criada terá também como objetivo abordar as possibilidades de automatização destes processos. Isto será conseguido através da identificação do estado atual da QA/QC no BIM e dos métodos para definir os requisitos de informação, propondo uma metodologia abrangente para a melhoria da qualidade do modelo e testando os métodos de QC através de um processo de verificação de um estudo de caso.

2. Estado da Arte

2.1. Garantia da Qualidade e Controle da Qualidade em BIM

A gestão da qualidade dos dados consiste em dois processos simultâneos: Garantia da Qualidade (QA) e Controlo da Qualidade (QC) [4]. A QA centra-se principalmente na integração da qualidade desde o início do projeto, enquanto a QC representa a medição da verificação da qualidade, com base na comparação dos dados com as normas estabelecidas e na análise das discrepâncias [5]. Por outras palavras, a QA é o processo alinhado com a criação de resultados, enquanto o QC é a verificação desses resultados.

Foi realizado um estudo de investigação para avaliar a extensão e o pormenor do conteúdo de QA/QC disponível no mercado BIM. O estudo avaliou vários guias

publicados desde 2012, visando especificamente as diretrizes que abrangem o modelo e a verificação da qualidade. A avaliação considerou três aspetos principais: QA/QC, Requisitos de Modelação e Normas e Convenções. A profundidade com que cada tópico é tratado foi classificada em três níveis: baixo=1, médio=2 e alto=3 (Tabela 1).

De um modo geral, a análise revelou que, embora muitos guias salientem a importância da qualidade no BIM, carecem frequentemente de uma metodologia pormenorizada e de requisitos específicos. Este facto só confirma a necessidade de criar uma diretriz que especifique requisitos completos para garantir a qualidade do modelo.

Tabela 1: Resultados da avaliação dos guias seleccionados

Nome do Documento	QA/QC	Requisitos de Modelação	Normas e Convenções
GSA BIM Guide	3	2	3
BIM Essential Guide	2	3	2
NATSPEC National BIM Guide	1	2	1
Singapore BIM Guide Version 2.0	3	3	1
COBIM Series 6	3	2	1
Statsbygg BIM Manual 1.2.1	2	3	3
GSFIC BIM Guide Series 01	1	3	3
The New Zealand BIM Handbook	1	2	1
CIC BIM Standards General	2	3	1
AEC (UK) BIM Technology Protocol	1	3	3
Total	19	26	19

2.2. Requisitos de informação

No processo de garantia da qualidade do modelo BIM, a gestão do nível e da qualidade da informação é crucial, uma vez que a qualidade dos dados afeta diretamente a precisão de qualquer análise realizada com esses dados. A utilização de informações adequadas não só evita a produção excessiva ou insuficiente de dados, como também permite a automatização dos controlos. Os requisitos de informação são definidos como "o pedido da informação explícita a ser entregue num determinado momento do projeto a um destinatário indicado, num método prescrito e para um determinado fim" [6]. A norma ISO 19650 [7] afirma que, antes de se considerar a informação propriamente dita, se deve compreender por que razão a informação é necessária, descrevendo-a através de quatro fatores principais: **Objetivo**, que é a necessidade que deve ser satisfeita; **Conteúdo**, que pode ser um conteúdo global da informação ou informação geométrica ou alfanumérica de um objeto; **Forma**, que é o modo como é apresentada, por exemplo, um desenho; e **Formato**, que é o modo como é codificada, por exemplo, IFC. O fornecimento de requisitos de informação adequados, permitindo assim um intercâmbio e uma utilização bem-sucedidos da informação, depende diretamente da definição do nível correto de informação que está a ser utilizado.

No contexto da definição dos requisitos de informação, um aspeto importante é o nível de informação. Durante muito tempo, os termos *Level of Detail* (LoD) e *Level of Development* (LOD) foram utilizados indistintamente. No entanto, a nível internacional, estas abordagens causaram mal-entendidos e uma utilização incorreta, provocando uma sobrecarga de informação e uma ineficiência geral. Para resolver este problema, foi introduzido o conceito de Nível de Necessidade de Informação (*Level of Information Need*), com o objetivo de ultrapassar as limitações do LOD e centrar-se nos dados necessários para realizar uma tarefa específica, como a Análise Energética ou a Determinação da Quantidade (QTO). De acordo com a norma ISO 19650, o nível de necessidade de informação é determinado pela quantidade mínima de informação que é necessária para cumprir os requisitos relevantes e tudo o que ultrapasse este mínimo é considerado um desperdício [7].

2.3. Métodos de especificação dos requisitos de informação

Apesar das exigências óbvias de definição de metodologias que seriam utilizadas para a especificação de Requisitos de Informação, existe uma carência de investigação científica sobre este tema. As metodologias avaliadas a seguir fazem parte da lista de métodos para especificação de requisitos de informação criada por Tomczak et al. [6]. O método mais utilizado para a especificação de Requisitos de Informação ainda é o baseado em texto, geralmente envolvendo ficheiros de texto que explicam os requisitos [6]. Embora este método possa ser considerado desatualizado, continua a ser muito utilizado devido à sua simplicidade. Os *Product Data Templates* representam uma abordagem mais avançada [8], oferecendo uma estrutura normalizada que permite fáceis trocas e processamento de software. Outro método, como explicado anteriormente, é o Nível de Necessidade de Informação, que é uma norma que especifica os requisitos de informação através da definição de requisitos geométricos, alfanuméricos e da documentação necessária para uma utilização específica. Uma das formas de definir os requisitos de intercâmbio interpretáveis por computador é através da utilização do *Model View Definition* (MVD). O MVD apresenta um nível de implementação específico das *Industry Foundation Classes* (IFC), definindo um subconjunto de informações a incluir no modelo, permitindo ao utilizador filtrar as informações necessárias para uma utilização específica. No entanto, a criação de MVD personalizados pode ser complexa, exigindo um conhecimento profundo do esquema IFC e garantindo a compatibilidade com aplicações de software. Para ultrapassar estas limitações, surgiu o formato *Information Delivery Specification* (IDS). O IDS é um formato de intercâmbio baseado em XML que aborda informações alfanuméricas definindo valores e restrições exatos. Um aspeto importante do IDS é o facto de poder ser utilizado como especificação complementar do nível de necessidade de informação, permitindo que os requisitos alfanuméricos sejam expressos de forma interpretável por computador, possibilitando a verificação automática da conformidade.

3. Metodologia

A metodologia proposta (Figura 1) envolve um processo cíclico que começa com a entidade contratante a criar um subconjunto de requisitos a partir do Especificador de Requisitos, adaptando-o às exigências específicas do projeto. Os requisitos criados são então fornecidos à entidade contratada e utilizados para orientar o processo de modelação e conduzir à criação do ficheiro IFC que é utilizado para o intercâmbio entre as partes. O processo de engenharia reversa é então facilitado. O ficheiro IFC criado é devolvido ao cliente, que procede à verificação se o ficheiro IFC entregue está em conformidade com os requisitos estabelecidos. Uma das principais ideias que englobam a metodologia criada é que esta deve responder às tendências da indústria, elevando o processo tradicional de garantia de qualidade e verificação através da utilização de tecnologias avançadas, em particular a automatização. O elemento-chave para facilitar a automatização seria o Especificador, que atua como um repositório central para gerar requisitos específicos do projeto e automatizar a verificação da conformidade do modelo. Para facilitar a interação máquina-a-máquina, o Especificador apresenta um nível de complexidade mais elevado do que os formatos convencionais atualmente utilizados. Está estruturado em formato tabular, permitindo uma fácil identificação e processamento dos dados através de scripts e algoritmos automatizados. Além disso, permite a criação de uma base de dados que servirá de repositório da informação.

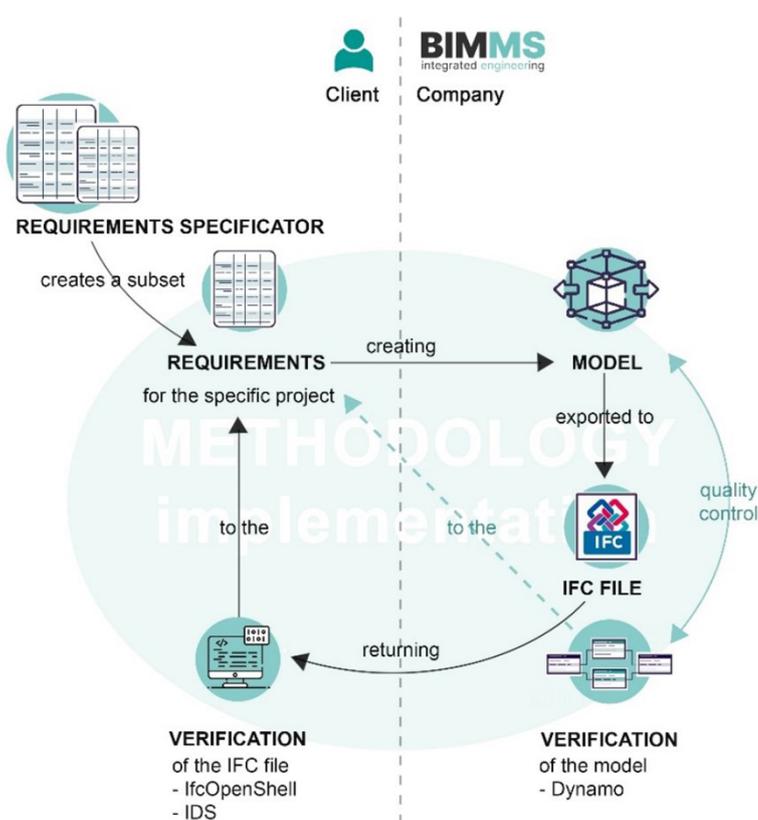


Figura 1
Ilustração da metodologia proposta.

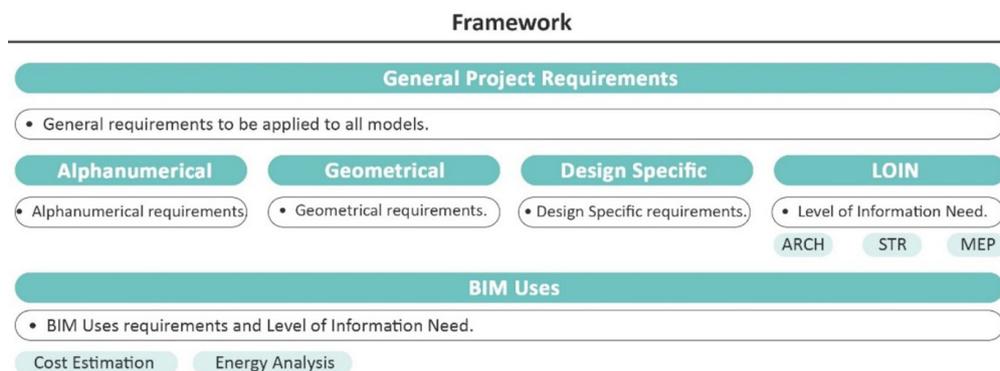
4. Especificador de Requisitos

O Especificador de Requisitos desenvolvido demonstra uma aplicabilidade versátil e é utilizado para auxiliar vários tópicos no processo BIM. **Fornecer orientação ao cliente na especificação dos requisitos de informação** – assegurando o fornecimento do nível de informação relevante e adequado, necessário para executar determinada utilização BIM. **Servir de guia de modelação para os membros da equipa** – fornecendo instruções precisas e normalizadas que permitem uma abordagem consistente à modelação por parte de todos os colaboradores, não só garantindo a qualidade do modelo BIM como também melhorando a eficiência global. **Constituir conjuntos de regras** – permitindo a avaliação do modelo e a verificação da conformidade com os requisitos estabelecidos.

O Especificador de Requisitos foi concebido segundo os princípios da herança hierárquica de classes, o que significa que as classes filhas herdam regras e funcionalidades da classe mãe. A estrutura hierárquica melhora a compreensão concetual, permite uma navegação mais fácil para os utilizadores e suporta uma variedade de aplicações, permitindo a modificação de acordo com as necessidades específicas.

A organização das classes está estruturada em três níveis distintos, cada um servindo grupos específicos no âmbito do Especificador de Requisitos (Figura 2).

Figura 2
Estrutura do Especificador de Requisitos.



Nível I: Os Requisitos Gerais do Projeto captam as regras e funcionalidades fundamentais para o projeto, assegurando a coerência e a unificação em todas as disciplinas. O principal objetivo deste conjunto é facilitar a interoperabilidade e a troca de informações entre os diferentes membros da equipa, abordando vários tópicos-chave, como a convenção de nomenclatura de ficheiros, a georreferenciação, a coerência das unidades e a utilização de ficheiros ligados.

Nível II: aprofunda os pormenores dos requisitos de modelação identificados pelas normas da indústria e pelos profissionais da BIMMS, classificando-os em três categorias: Requisitos alfanuméricos, geométricos e específicos do projeto. O conjunto de regras alfanuméricas aborda o tema das convenções de nomenclatura e da

consistência. Os requisitos geométricos centram-se na definição de diretrizes gerais relacionadas com a geometria, o posicionamento e a modelação dos elementos, ao passo que o conjunto de regras específicas do projeto introduz diretrizes específicas que abordam as práticas gerais de projeto que devem ser seguidas, integrando os procedimentos de qualidade estabelecidos pela empresa no Especificador.

O conteúdo do modelo pode ser visto como um complemento aos requisitos alfanuméricos, com o objetivo de melhorar o conteúdo dos dados. É categorizado em três disciplinas principais: Arquitetura, Estruturas e MEP (Mecânica, Elétrica e Canalização), com uma divisão mais fina nas três fases principais dos projetos de construção: Projeto, Construção e Operação.

Nível III: Usos BIM: O terceiro nível fornece regras e diretrizes relativas a usos BIM específicos tais como a estimativa de custos e a análise energética. Herda os requisitos fornecidos nos níveis anteriores e define ainda as regras de modelação e o nível de informação para o uso em causa. O Especificador de Requisitos fornece uma abordagem global e que o conteúdo da informação pode variar consoante a etapa, o objetivo e o software utilizado.

Cada requisito é construído de acordo com um esquema: "deve" exprime um requisito que deve ser seguido rigorosamente, "deveria" exprime uma recomendação como orientação valiosa e "pode" exprime uma possibilidade que pode ser explorada. Um requisito pode ser construído utilizando uma combinação de diferentes formas de expressão, em que "deve" define um requisito e "deveria" é utilizado como recomendação de acompanhamento, por exemplo, Todos os ficheiros no âmbito do projeto devem seguir uma convenção de nomenclatura uniforme e coerente especificada pelos requisitos de informação. Se não for pedido o contrário, pode ser seguida a convenção de nomenclatura ISO 19650-2.

É adotada uma configuração tabular que, como explicado anteriormente, foi concebida para facilitar as interações máquina-máquina (Figura 3). Neste constructo, cada parâmetro é acompanhado de uma descrição contextual, do tipo de dados que incorpora e da unidade de medida correspondente. Sempre que possível, as propriedades correspondem ao esquema IFC.

Figura 3
Segmento do
Especificador de
Requisitos, Nível III:
Estimativa de Custos.

REQUIREMENTS **Specifier** - Cost Estimation

COST ESTIMATION																	
1	Structural Types																
Elements that are from the construction perspective considered different structural types shall be modelled as individual types. * e.g., wooden walls of different heights, that are constructed differently.																	
2	Resource Naming																
All resources shall follow the same naming convention. * This allows grouping the quantities of each resource.																	
3	Ceiling drops and covers																
Ceiling drops and covers shall be modelled as walls containing the same layers as ceiling. *Up to 300mm they are quantified in metres.																	
4	Compound elements																
Every layer of compound element shall be modelled as to present the accurate dimensions of the accurate construction.																	
5	Reinforced structures and formwork in concrete elements																
If not modelled, reinforced structures and formwork quantities shall be obtained from modelled geometry using ratios provided by structural designer. *Amount of reinforcement weight per unit of volume for each element category (proposed by Maurício Morales, BIMMS)																	
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Element Category</th> <th>Reinforcement weight per unit of volume (kg/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Beams</td><td>300</td></tr> <tr><td>Columns</td><td>335</td></tr> <tr><td>Concrete Slab</td><td>50</td></tr> <tr><td>Concrete Wall</td><td>130</td></tr> <tr><td>Foundation Reinced Slab</td><td>85</td></tr> <tr><td>Foundation Beam</td><td>280</td></tr> <tr><td>Foundation Floating Slab</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>	Element Category	Reinforcement weight per unit of volume (kg/m ³)	Beams	300	Columns	335	Concrete Slab	50	Concrete Wall	130	Foundation Reinced Slab	85	Foundation Beam	280	Foundation Floating Slab	20
Element Category	Reinforcement weight per unit of volume (kg/m ³)																
Beams	300																
Columns	335																
Concrete Slab	50																
Concrete Wall	130																
Foundation Reinced Slab	85																
Foundation Beam	280																
Foundation Floating Slab	20																
6	Commercial size																
Specifying the size according to provided list of commercial sizes: piping,cable trays and ducting.																	

5. Verificação / Caso de estudo

Foram realizadas três metodologias de verificação aplicadas num projeto da empresa: verificação do ficheiro IFC utilizando o IDS, linguagem de programação Python com o IfcOpenShell e linguagem de programação visual na plataforma Dynamo para verificar o modelo Revit. As duas primeiras abordagens foram concebidas para se adaptarem tanto às verificações internas da qualidade como à avaliação externa efetuada pelo cliente. A terceira abordagem destina-se a ser utilizada durante o processo de modelação, pelos membros da equipa, como uma medida de garantia de qualidade.

5.1. IDS

O primeiro método de verificação utiliza o formato IDS para avaliar a conformidade do ficheiro IFC com o Nível de Necessidade de Informação definido pelo Especificador. Foram avaliados dois métodos diferentes: um utilizando o IDS Converter e o IfcTester do BlenderBIM, e o outro utilizando o usBIM.IDS Editor e o usBIM.IDS Validator, fornecidos pelo Software ACCA. Para efeitos deste caso de estudo, foram escolhidos elementos de parede para verificação. O processo incluiu o preenchimento dos elementos com as propriedades definidas pelo Especificador no Revit, a categorização dos parâmetros e a exportação para o formato IFC-SPF. Ambos os métodos avaliados consistiram na criação do formato IDS e, em seguida, na validação do ficheiro IFC para esse IDS. A utilização do conversor de IDS com o BlenderBIM revelou-se vantajosa por ser uma abordagem aberta, mas com limitações do conversor, que só pode ser utilizado para especificar os requisitos das propriedades, excluindo atributos e valores armazenados em entidades de nível superior. No entanto, o usBIM.IDS Editor mostrou maior aplicabilidade na definição de requisitos para propriedades, classificações e atributos, com alguns desafios relacionados com a especificação de materiais de elementos compostos. Ambos os métodos apresentaram resultados idênticos, com 33 instâncias de paredes com falha de determinados parâmetros.

5.2. IfcOpenShell

O segundo tipo de verificação neste estudo utiliza Python e IfcOpenShell para avaliar a conformidade do ficheiro IFC com o subconjunto de três requisitos escolhidos. Todos os três tipos de verificação se baseiam na condição IF, o que significa que fornecem resultados de PASS/FAIL, embora se centrem em três aspetos diferentes: dados alfanuméricos, informação geométrica e relações entre elementos.

A primeira verificação é a mais simples e baseia-se na extração direta dos dados alfanuméricos do ficheiro IFC. O algoritmo recupera todos os objetos de guardas de proteção no ficheiro IFC e percorre os seus conjuntos de propriedades identificando a propriedade Altura e comparando o seu valor com os critérios predefinidos. Se o valor for inferior a 900 mm, a verificação resulta numa FALHA, indicando quais os elementos que não cumprem os requisitos. Neste estudo de caso, 23 dos 66 objetos de guardas não cumpriam o requisito de altura.

O segundo script de verificação utiliza cálculos geométricos para avaliar se as áreas das divisões estão de acordo com o programa de divisões definido pelo cliente. O processo envolve a criação de uma folha Excel com base na listagem de divisões do cliente, listando os números, nomes e áreas. O algoritmo processa a geometria dos objetos IfcSpace, extraíndo as faces e vértices necessários para calcular as áreas e compara as áreas calculadas das divisões com as fornecidas no Excel. Os resultados mostraram que 141 das 143 divisões cumprem os requisitos do cliente.

O terceiro procedimento de verificação avalia se as portas e janelas estão localizadas ao mesmo nível que as paredes que as alojam. Examina as relações espaciais no ficheiro IFC, identificando os elementos ligados. Depois de processar e comparar a sua localização, o script fornece uma lista de elementos que não estão alinhados com os critérios predefinidos. Neste caso, dois dos 211 elementos da porta apresentavam uma incompatibilidade.

Os resultados obtidos com estas verificações permitem a identificação de elementos não conformes, facilitando a validação posterior e as correções, se necessário (Figura 4).

```
PS C:\Users\adjuk\Desktop\Case Studies\IfcOpenShell.Room Schedule> & C:/Users/adjuk/AppData/Local/Programs/Python/Python39/python.exe "c:/Users/adjuk/Desktop/Case Studies/IfcOpenShell.Room Schedule/Script2.py"
Room Area Pass: S2.V01, Acesso Vertical, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz$6, Area: 11.68 m²
Room Area Pass: S2.V03, Circulação, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz$D, Area: 9.74 m²
Room Area Fail: S2.V06, Área Técnica, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSzyn, Area in IFC: 1785.03 m², Area in Excel: 1800.0 m²
Room Area Pass: S1.V01, Acesso Vertical, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSzly, Area: 16.64 m²
Room Area Pass: S1.V02, Circulação, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz1$, Area: 9.74 m²
Room Area Pass: S2.V04, Área Técnica, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSzg0, Area: 4.04 m²
Room Area Pass: P0.V34, Armazém, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz2BZ, Area: 92.41 m²
Room Area Fail: P0.V16, Provadores, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz25T, Area in IFC: 22.35 m², Area in Excel: 24.0 m²
Room Area Pass: P0.V01, Acesso Vertical, GUID: 2_H5pBNZ1C6eaZQt2mSz22c, Area: 11.36 m²
```



Figura 4

Resultados da verificação efetuada e deteção de elementos emitidos no IFC Viewer.

5.3. Dynamo

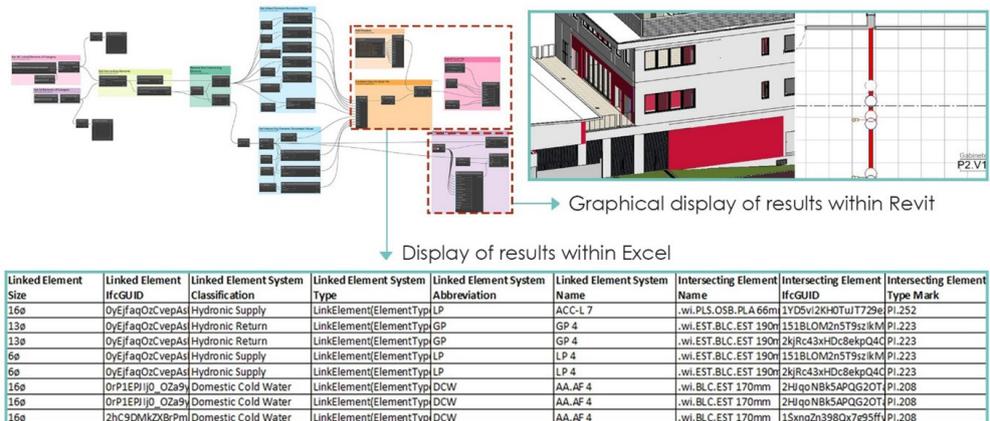
Este método de verificação utiliza a linguagem de programação visual no ambiente Dynamo. Para efeitos do estudo de caso, foram efetuadas três verificações diferentes, as duas primeiras abordando e validando o modelo arquitetónico e a terceira utilizando tanto o modelo arquitetónico como o modelo MEP que lhe está ligado.

A primeira verificação centra-se em garantir a unicidade dos nomes das divisões no modelo. Para o efeito, foi concebido um script Dynamo para identificar e assinalar nomes de divisões duplicados através da análise dos números das divisões. Neste caso específico, são utilizados scripts Python para identificar índices duplicados, bem como para obter as etiquetas das divisões necessárias para a apresentação gráfica dos resultados.

A segunda verificação confirma se o ficheiro Revit contém divisões não colocadas. O script Dynamo recolhe informações sobre todos os elementos da divisão, filtra as divisões não colocadas e compila os dados essenciais relacionados com as divisões num ficheiro Excel, permitindo aos utilizadores acompanhar os resultados.

Por último, a terceira verificação aborda a tarefa complexa de identificar intersecções entre os elementos do modelo arquitetónico e os do modelo MEP, sendo uma medida de deteção e coordenação de conflitos. O script Dynamo recupera elementos de ambos os modelos, utilizando as funcionalidades dos nós especificamente concebidos para lidar com elementos ligados, fornecidos pelo pacote BimorphNodes. O mesmo pacote é utilizado para filtrar e tratar a intersecção dos elementos. Após a recuperação dos elementos de intersecção, os resultados são apresentados visualmente, juntamente com a exportação dos dados relevantes para Excel.

Figura 5
Visualização dos resultados do controlo efetuado.



O principal aspeto considerado na metodologia de verificação que utiliza o Dynamo é a apresentação dos resultados, tanto gráfica como semanticamente, ajudando os utilizadores a interpretar e analisar a informação (Figura 5).

6. Conclusão

O conceito de metodologia integrada de QA/QC proposto na investigação tem um grande potencial para abordar a qualidade e garantir que o modelo BIM responde às necessidades do cliente. Tem a capacidade de transformar o processo de colaboração e a forma como as entregas são tratadas. No entanto, a sua aplicação integral exigirá recursos financeiros e humanos para o seu desenvolvimento. Em primeiro lugar, para completar a base de conhecimentos com mais usos BIM, de modo a poder responder a vários cenários. Relacionado com isto, o Especificador de Requisitos exigirá um refinamento contínuo, alinhando-o com as normas atuais e incorporando as lições aprendidas em cada projeto. Em segundo lugar, a criação de uma ferramenta que permita todas as verificações dos requisitos do Especificador.

Os resultados deste trabalho sublinham a importância de o sector dar prioridade à qualidade dos modelos BIM. Apesar do grande número de orientações e ferramentas, a profundidade com que abordam o tema da Qualidade não é suficiente, fornecendo orientações ambíguas ou não aplicáveis no mercado do mundo real, desencorajando os utilizadores a adotá-las. Tendo isto em consideração, torna-se imperativo mudar o enfoque para metodologias que sejam simples e aplicáveis na prática, enquanto se procura a integração dos procedimentos de Qualidade.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do programa de Mestrado BIM A+ Erasmus Mundus em parceria com a BIMMS, a quem importa agradecer toda a colaboração e empenho.

Referências

- [1] W. Andrich, B. Daniotti, A. Pavan, and C. Mirarchi, "Check and Validation of Building Information Models in Detailed Design Phase: A Check Flow to Pave the Way for BIM Based Renovation and Construction Processes," *Buildings*, vol. 12, pp. 153-154, February 2022. doi: 10.3390/buildings12020154.
- [2] S. S. Salvi, and S. S. Kerkar, "Quality Assurance and Quality Control for Project Effectiveness in Construction and Management," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 9, pp. 26-29, February 2020. doi: <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS020028>.
- [3] S. Cann, A.-M. Mahamadu, A. Prabhakaran, K. Dziekonski, and R. Joseph, "An approach for semi-automated data quality assurance within BIM models," *Engineering Management in Production and Services*, vol. 14, pp. 114-125, December 2022. doi: 10.2478/emj-2022-0034.

- [4] O. Doukari, and A. Motamedi, "An Ontology to Enable Semantic BIM-Based Data Quality Assurance and Quality Control, Transforming Construction with Reality Capture Technologies," in *The Digital Reality of Tomorrow (2022)*, Fredericton, Canada, 2022, pp. 1-3. doi: 10.57922/TCRC.612.
- [5] ISO/TC 176, "ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary," International Organization for Standardization (ISO), 2015.
- [6] A. Tomczak, L. V. Berlo, T. Krijnen, A. Borrmann, and M. Bolpagni, "A review of methods to specify information requirements in digital construction projects," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1101, no. 9, p. 092024, November 2022. doi: 10.1088/1755-1315/1101/9/092024.
- [7] ISO "ISO 19650:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using BIM – Part 1: Concepts and principles," ISO, 2018.
- [8] Martins, Pedro e Costa, António, "BIM Product Data Templates: Desafios e Oportunidades", 2o Congresso Português de Building Information Modelling, 2018.

Contratação integrada de obra emergencial em BIM – Desafios e benefícios para um órgão público no Brasil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.38>

**Silvia Pereira¹, Erisvaldo Juvêncio²,
Marly Vieira³, Patricia Abirached⁴**

¹ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0003-2071-5372*

² *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0003-2091-8823*

³ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0003-0294-8049*

⁴ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0009-4035-9337*

Resumo

Na contratação integrada de projeto e obra, o uso do BIM oferece vantagens significativas. De facto, há recomendação de utilização preferencial desta metodologia na Lei 14.133, de 2021 – a nova Lei de Concursos Públicos e Contratos Administrativos – cuja adoção está em fase de transição no Brasil. No entanto, nestas contratações, para além dos benefícios, existem desafios que devem ser enfrentados com um esforço coordenado entre equipas qualificadas. Desenvolver um projeto de grande porte, com elevada complexidade de sistemas, para cumprir os programas de necessidades de laboratórios de investigação, num curto prazo, requer planeamento e gestão cuidadosos para maior precisão e compatibilização na sua execução. Além disso, a equipa responsável pela modelação BIM deve contar com profissionais especializados e integrados para garantir um processo preciso e eficaz desde o desenvolvimento da solução até ao registo da execução. O objetivo deste artigo é apresentar os desafios e os benefícios da contratação integrada de uma obra emergencial em BIM num órgão público no Brasil. Através de pesquisa baseada nos métodos de revisão bibliográfica, pesquisa exploratória e estudo de caso, serão apresentadas recomendações da nova lei de concursos públicos, referentes à utilização da metodologia BIM e à experiência de uma contratação integrada e emergencial em BIM.

1. Introdução

No contexto brasileiro de fomento ao uso do BIM pela Administração Pública, ressaltam-se importantes iniciativas do Governo Federal, que a partir de 2017, apontam para a valorização da implantação do BIM no âmbito dos investimentos públicos, com a criação do comitê estratégico interministerial para a disseminação do BIM no Brasil [1].

Cabe destacar o Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 [2], que estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – **Estratégia BIM-BR**, instituída pelo Decreto n.º 9.983, de 22 de agosto de 2019 [3]. Segundo o decreto de 2020, Art. 4.º, a implementação do BIM ocorre de forma gradual, em projetos piloto de organizações federais selecionadas, obedecendo três fases, com marcos de utilização do BIM em 2021 (em projetos), 2024 (em projetos e obras) e 2028 (em projetos, obras e em operação e manutenção).

Já a **Lei Federal N.º 14.133, de 1.º de abril de 2021** [4], a chamada nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, depois de décadas de tramitação, foi aprovada com várias inovações, com o objetivo de aprimorar a qualidade dos produtos recebidos destes contratos, com adequações dos procedimentos à fase de transição da Lei 8666/93 [5] e de outras relacionadas, como a Lei nº 12.462, de 4 de agosto de 2011 [6]. A nova lei tem como objetivos principais conferir maior transparência, eficiência, sustentabilidade e eficácia às contratações de obras públicas e contém mudanças que visam minimizar os recorrentes problemas nos empreendimentos, apontados pelo Tribunal de Contas da União – TCU como causa de paralisação de obras (mais 14 mil obras paralisadas no Brasil em 2019). [6]

Na nova Lei de Licitações e Contratos, o artigo 19, determina que os órgãos da Administração com competências regulamentares relativas às atividades de administração de materiais, de obras e serviços e de licitações e contratos deverão, entre outras coisas: “(...) III – instituir sistema informatizado de acompanhamento de obras, inclusive com recursos de imagem e vídeo; (...) V – promover a adoção gradativa de tecnologias e processos integrados que permitam a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de obras e serviços de engenharia.”

No parágrafo 3.º do mesmo artigo, esta lei dispõe que, nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que for adequado ao objeto da licitação, **seja preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modeling – BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou outros que venham a substituí-la**. O que já prevê também tecnologias mais avançadas.

No entendimento dos especialistas dos órgãos de controle externo, esta expressão *preferencialmente adotada* implica que, no caso de não adoção do BIM, será necessário justificar detalhadamente a opção da instituição em não adotar seu uso.

Desta forma, na percepção do governo federal, para apresentar esta justificativa faz-se necessário que cada ente administrativo disponha de um cronograma de implementação gradativa do BIM, alinhado à Estratégia BIM-BR, valendo-se, para tanto, de consultorias e programas de cooperação técnica. Assim, a não contratação em BIM pelo agente público só poderá ser legítima se encontrar ressonância num dos critérios objetivos constantes neste plano de implementação BIM [7]. Porém, há de se levar em conta a heterogeneidade das realidades de adoção do BIM entre órgãos da Administração Pública (diretas, autárquicas e fundacionais da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios), no Brasil.

A **contratação integrada**, já prevista no Regime Diferenciado de Contratações Públicas (RDC – Lei n.º 12.462/2011) [6], pela nova lei, consiste no regime de contratação de obras e serviços de engenharia em que o contratado é responsável por elaborar e desenvolver os projetos básico e executivo, executar obras e serviços de engenharia, fornecer bens ou prestar serviços especiais e realizar montagem, teste, pré-operação e as demais operações necessárias e suficientes para a entrega final do objeto [4].

A **contratação emergencial** prevista em Lei no Brasil, se dá: *“quando caracterizada urgência de atendimento de situação que possa ocasionar prejuízo ou comprometer a continuidade dos serviços públicos ou a segurança de pessoas, obras, serviços, equipamentos e outros bens, públicos ou particulares, e somente para aquisição dos bens necessários ao atendimento da situação emergencial ou calamitosa e para as parcelas de obras e serviços que possam ser concluídas no prazo máximo de 1 (um) ano.”* [4]

Constitui uma solução de gestão para lidar com situações de emergência – casos de urgência [8] – de forma eficaz, otimizando recursos e entregando projetos dentro do prazo e do orçamento. Os desafios típicos de uma contratação emergencial são lidar com prazos críticos, informações limitadas, riscos e incertezas, condições logísticas e ambientais complexas, entre outros.

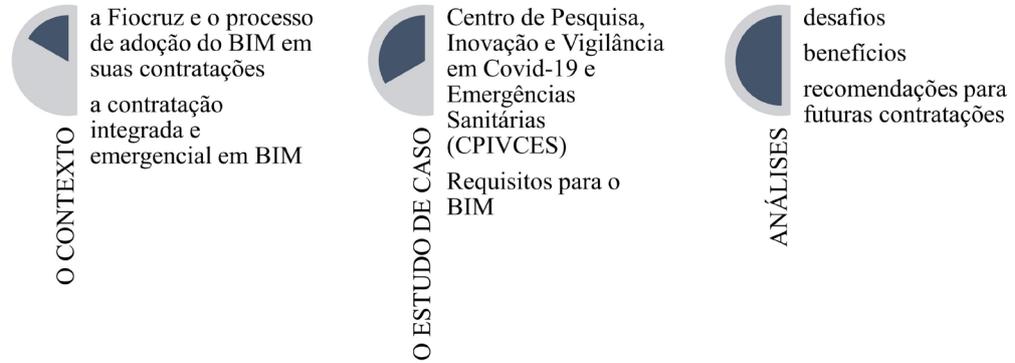
2. Objetivo e método

Será apresentado um estudo de caso de contratação integrada e emergencial em BIM, por um órgão público no Brasil, realizado com base na nova Lei das Licitações 14.133/21 e em alinhamento às metas e aos objetivos do governo brasileiro constantes na Estratégia BIM-BR. O objetivo é apresentar os desafios e os benefícios desta contratação realizada pela Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz, relevante instituição brasileira de ciência e tecnologia em saúde.

O método utilizado para a elaboração do artigo foi de revisão bibliográfica, pesquisa exploratória e estudo de caso. Segundo Yin [9], o estudo de caso baseia-se em uma estratégia de pesquisa em busca do entendimento de um fato atual em todo o seu contexto com abordagens específicas, coleta de dados e informações para que se possa elaborar uma completa análise sobre os fatos ocorridos por meio das questões envolvidas, as quais serão estudadas.

A pesquisa documental foi realizada em contratos, termos de referência, relatórios de produtos contratados, normas e legislações brasileiras. O método de pesquisa foi desenvolvido a partir das etapas, conforme Figura 1.

Figura 1
Método de pesquisa.



3. O estudo de caso

A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) é uma instituição dedicada à saúde vinculada ao Ministério da Saúde e tem entre suas unidades a Coordenação Geral de Infraestrutura dos Campi (Cogic) que gerencia a estrutura física da Fiocruz e, desde 2014, adota a metodologia BIM em suas contratações de projetos. O enfoque emergencial foi aplicado em obras relacionadas à COVID-19, como o Centro Hospitalar, Unidades de Apoio ao Diagnóstico da COVID-19, Biobanco e, em 2021, o Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCS), o presente estudo de caso, construído em prazo reduzido de 12 meses para atender à crescente demanda por espaços de pesquisa diante da pandemia, a partir da otimização de recursos e prazos, para oferecer instalações adequadas em um contexto global crítico.

O CPIVCS (Figura 2) está instalado no Campus Maré da Fiocruz, no Rio de Janeiro, em prédio distribuído em dois blocos com três pavimentos, com cerca de 12.000m² para atividades laboratoriais de níveis de biossegurança 2 e 3 (níveis de contenção laboratorial de acordo com as classes de riscos associados aos microrganismos manipulados nas pesquisas, sendo estes níveis classificados de 1 a 4).

Figura 2
Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias.



O CPIVCS é constituído, portanto, por treze laboratórios de nível de biossegurança 2 e um laboratório de nível 3, quatro plataformas tecnológicas, um biotério de experimentação animal de pequenos roedores NBA2 e um de NBA3 (NBA - nível de biossegurança animal). Além disso, há áreas laboratoriais compartilhadas, escritórios, setores técnicos, áreas de apoio e de utilidades – estas com cerca de 1.600m², compreendendo a Central de Sistemas de Climatização, Central Elétrica, Central de Gases, Depósito de Inflamáveis, Central de Inativação Térmica, ETE Química e Biológica, entre outros.

3.1. Requisitos para o BIM pela contratante

De acordo com o Termo de Referência para a contratação [10], fornecido pela Fiocruz, consta que a contratada deve utilizar a metodologia BIM e desenvolver os projetos de maneira harmônica e compatibilizados entre si, atendendo, sempre aos seguintes requisitos gerais:

- Funcionalidade e adequação ao interesse público, observando as possibilidades de mudanças de uso, reforma e manutenções preventiva e corretiva dos espaços;
- Economia na execução, conservação e operação, adotando, sempre que possível, um sistema de modulação de componentes;
- Utilização de materiais, componentes e soluções técnicas adequadas à realidade regional e ao objetivo da edificação;
- Facilidade na execução, conservação e operação sem prejuízo da durabilidade; e
- Adoção de normas técnicas de saúde e de segurança do trabalho adequadas.

As fases de projeto descritas no documento são Projeto Básico, Executivo e Projeto de *As Built*, com vistas à utilização do modelo na fase de operação e de manutenção. Outros itens que constam como produtos ou serviços relacionados ao BIM são:

- Padronização de templates, com respectivos manuais de uso;
- Plano de Execução BIM – integrante do Plano de Trabalho detalhado;
- GED – Sistema de Gestão Eletrônica de Documentos;
- Relatórios de Detecção de Conflitos;
- Modelos do Projeto Básico e do *As Built*;
- Relatórios de análise de planilhas de quantitativos extraídos dos modelos;
- Bibliotecas de famílias atualizadas.

Nota-se que não há exigência de entrega dos modelos referentes à fase do Projeto Executivo. Porém não significa que o projeto Executivo não tenha que ser devidamente desenvolvido, compatibilizado e validado pela fiscalização como pré-requisito para a execução da obra.

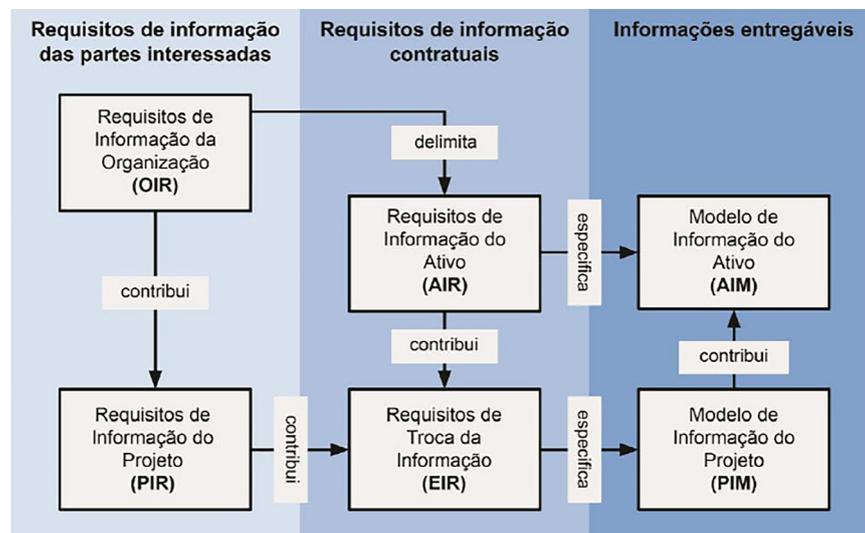
No momento da contratação deste empreendimento, o Caderno BIM Cogic-Fiocruz (EIR) encontrava-se em desenvolvimento [11]. Assim, foi indicado como referência

para o processo de modelagem as especificações disponibilizadas pelo Governo de Santa Catarina.

Para a inserção de parâmetros pela contratada para a gestão de ativos, determinou-se o uso da planilha de Requisitos de Informação de Ativos (AIR), fornecida pela Cogic-Fiocruz. Nesta contratação foram fornecidos, portanto, os Requisitos de Informação do Projeto (PIR) e os Requisitos de Informação do Ativo (AIR), além do template de Arquitetura para modelagem BIM.

Para o entendimento de todos os requisitos de informação que envolvem uma contratação em BIM, apresenta-se a Figura 3 [12]. Onde percebe-se o impacto nas informações entregáveis, a partir dos documentos entregues pela contratada.

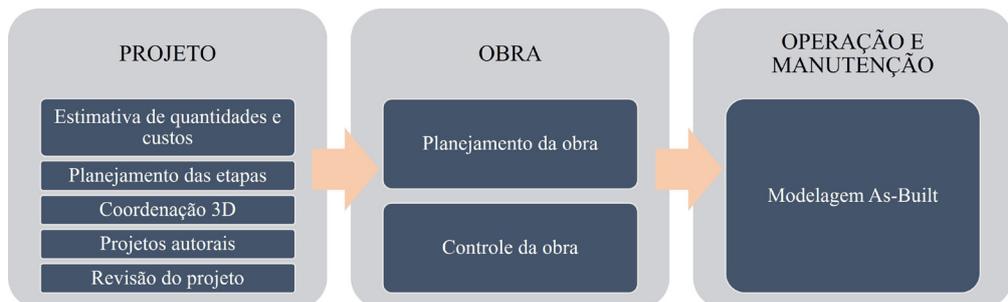
Figura 3
Entrega dos requisitos de informações pela contratante e o impacto nas informações entregáveis [12].



3.2. Planejamento e execução BIM pela contratada

O Plano de Execução BIM (prévio), contido no documento Metodologia e Plano de Trabalho apresentado pela Contratada, forneceu informações relevantes sobre a condução das ações relacionadas à metodologia para o desenvolvimento dos projetos em BIM e sobre a gestão das informações. Os usos BIM planejados para o empreendimento foram os seguintes, de acordo com a Figura 4:

Figura 4
Usos BIM planejados para o empreendimento.



Para a coordenação e gestão de documentos foi disponibilizada uma plataforma de acesso aos arquivos – BIMSync/ Catenda Hub – que corresponde ao ambiente comum de dados (CDE), previsto no Termo de Referência da Fiocruz como GED. O CDE possibilitou maior acessibilidade visual aos projetos e soluções em 3D, além da possibilidade de verificação das propriedades dos elementos projetados, compatibilização entre disciplinas, em uma interface amigável disponível para todos os envolvidos na validação dos projetos e modelos, bem como na fiscalização da obra.

Para acompanhamento do andamento de obra, assim como para o seu registro, foi utilizada a tecnologia de captura de imagens por meio de câmera 360° referenciada, pela plataforma ConstructIN, com atualização periódica das fotos que variou entre semanal e quinzenal.

Além do acompanhamento da evolução física da obra com visita virtual e imagens organizadas automaticamente por horário, data e localização, é possível inserir a modelagem BIM na plataforma, e assim também estabelecer um comparativo entre o que foi executado e o que foi modelado. Pode-se criar apontamentos, checklists e relatórios de não conformidades automáticos a partir dos apontamentos. Cabe ressaltar que a disponibilização deste recurso encontra-se alinhada às diretrizes apontadas no Art.19 da nova Lei de Licitações e Contratos, conforme citado na introdução deste artigo.

4. Análises

Com as informações obtidas durante o processo de acompanhamento e fiscalização dos projetos em BIM, ao longo de suas fases, realizou-se uma análise crítica referente às práticas utilizadas no processo de coordenação e gestão da informação, e destacam-se os desafios e os benefícios da contratação integrada e emergencial em BIM, bem como as recomendações para futuras contratações integradas, sejam emergenciais ou não.

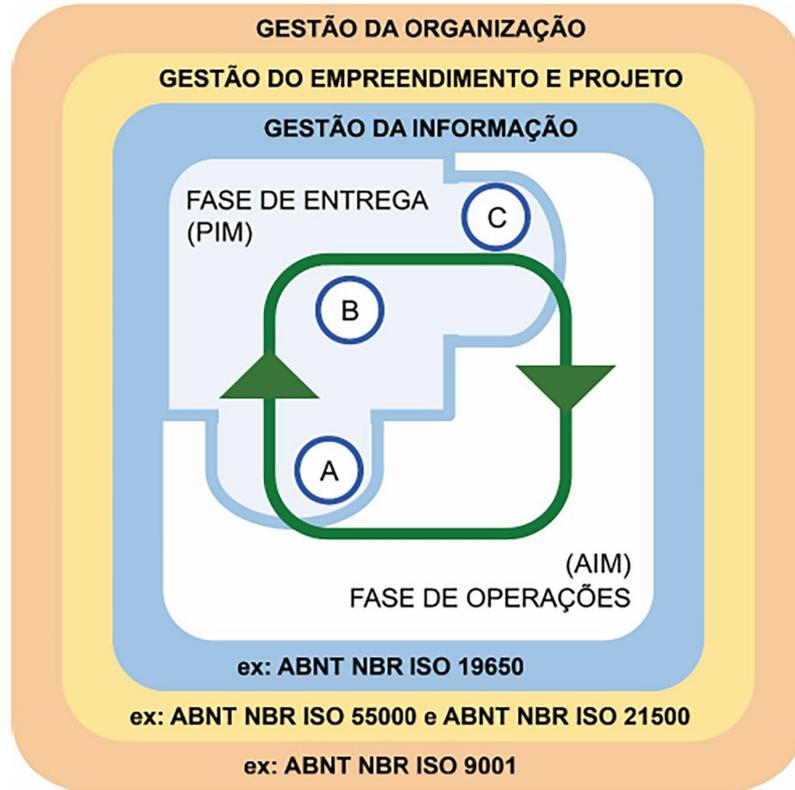
4.1. Desafios

Na contratação de projetos, avaliar a qualidade da modelagem e informação dos objetos foi desafiador devido ao curto prazo. Garantir a geometria 3D e a compatibilidade entre disciplinas demandou coordenação BIM em ambas as partes. Apesar das regras automáticas de verificação, a avaliação dos modelos BIM foi sistematizada para estabelecer critérios de qualidade. A dinâmica de avaliação evoluiu de relatórios de inconsistências para uma planilha de acompanhamento dos 26 modelos gerados, facilitando a medição quinzenal ao quantificar e otimizar as pendências atendidas em cada entrega.

Para a etapa de *as built*, foram agregadas as ferramentas utilizadas na verificação dos espaços e da geometria executada, visando o recebimento mais aproximado de um gêmeo digital, para futura utilização dos modelos BIM na operação e manutenção da edificação e seus sistemas.

Portanto, outro grande desafio foi realizar a transferência da informação entre os modelos de informação de projeto e os modelos de informação de ativos.

Figura 5
Desafio na transferência de informação do modelo de informação do projeto (PIM) para o modelo de informação do ativo (AIM) [12].



Como exemplificado na Figura 5, este processo consiste em desenvolver modelos virtuais da construção, que passa pela fase A (início da entrega), B (desenvolvimento progressivo do modelo virtual da construção) e C (transferência da informação relevante PIM para AIM) [12]. Além disso, a informação da obra precisa chegar à equipe BIM de modelagem do *as built* de forma eficaz e coerente.

Neste sentido, apresentamos na Figura 6, os principais desafios encontrados na contratação integrada e emergencial em BIM para o CPIVCS.

Figura 6
Desafios apurados na contratação integrada e emergencial em BIM, no CPIVCS.



Observa-se ainda neste contrato, além do prazo de execução do projeto e da obra em 12 meses, a evidente necessidade de igual período de comissionamento das instalações devido à alta complexidade dos sistemas, e consequente atualização e re-compatibilização dos modelos BIM na fase de *as built* do empreendimento, incluindo toda documentação a ser gerada e demais adequações.

Entende-se, neste caso, o fator emergencial como o maior desafio a ser vencido, mesmo antes do início do contrato propriamente dito.

4.2. Benefícios

Nesta contratação, os modelos BIM trouxeram benefícios significativos ao permitir a identificação precoce de problemas, com o objetivo de economizar tempo e recursos. Foram essenciais na visualização de incompatibilidades entre disciplinas e na preparação para aquisições, agilizando a execução da obra. A inclusão do Plano de Execução BIM otimizou esforços, garantindo a entrega conforme planejado. O *Common Data Environment* (CDE), através do BIMSync/Catenda Hub, facilitou a coordenação e comunicação entre as partes, sendo fundamental para a visualização, avaliação e qualidade dos modelos e do projeto, ao se buscar garantir a compatibilidade entre disciplinas.

Os benefícios vivenciados na contratação integrada e emergencial em BIM para o CPIVCS estão sistematizados na Figura 7.

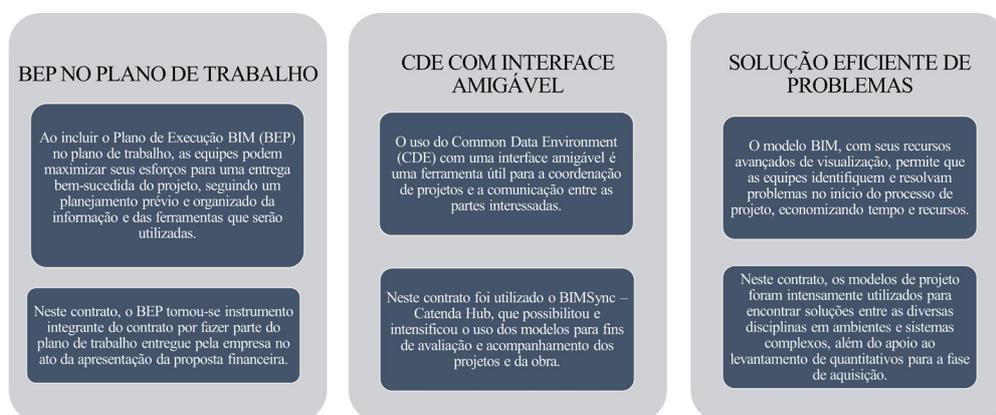


Figura 7
Benefícios vivenciados na contratação integrada e emergencial em BIM, no CPIVCS.

4.3. Recomendações

Em futuras contratações em BIM, recomenda-se que a Contratante desenvolva estudos e anteprojetos em BIM para todas as disciplinas, disponibilizando-os pela Administração. A padronização prévia dos *templates* das disciplinas é essencial. Isso proporcionará benefícios como uniformidade no projeto, agilidade na elaboração do projeto executivo para soluções na obra e na documentação final de *as built*.

Pode-se elencar também como vantagens do desenvolvimento de *templates*:

- Padronização inicial de todas as disciplinas;
- Ponto base e de origem interna padronizados entre todas as disciplinas;
- Nomenclatura de níveis e navegador padronizados;
- Vistas de projeto, pranchas e informações de projeto já configurados;
- Planilhas de quantitativos e de informações 7D já configuradas;
- Famílias de equipamentos com parâmetros já configurados e nível de informação geométrica e não geométrica já definidos.

É necessário investir em capacitação interna dos projetistas e contratados visando a padronização adequada de fluxos de trabalho BIM e a otimização da coordenação e da colaboração entre todos os intervenientes no processo. A melhoria dos termos de referência e editais é vital, especificando habilidades necessárias para cada função em contratos BIM. Definir o uso do BIM para operação e manutenção, através do EIR (Caderno BIM) e AIR (Requisitos de Informação do Ativo), em padrões como IDS (*Information Delivery Specification*), é essencial para melhorar processos de modelagem e verificação de qualidade. Repensar prazos para incluir a fase de comissionamento e revisar a remuneração pelo *as built* são fundamentais. Por fim, o nível de informação entregue em contratos BIM para operação e manutenção precisa ser ajustado para corresponder às necessidades reais.

5. Considerações finais

A contratação integrada em BIM traz benefícios, porém exige atenção para garantir resultados esperados. É crucial alinhar expectativas contratadas com métricas claras, detalhar aspectos como adequação do produto e uso pós-obra dos modelos BIM. Questões como fidelidade dos modelos ao construído e medição adequada são essenciais, exigindo investimento em conhecimento para atender padrões de qualidade. Embora o BIM simplifique processos e promova a entrega de produtos de qualidade, sua utilização exige equipe qualificada e bem alinhada, planejamento, e demais plataformas tecnológicas que o subsidiem, sendo mais desafiador em contratações emergenciais. No entanto, seus benefícios o tornam um investimento valioso, especialmente na operação e manutenção de empreendimentos complexos de construção.

Importante atentar que, por esta experiência, verificou-se que o gêmeo digital deve nascer simultaneamente à construção real, ou seja, se a obra não trabalhar de maneira coadunada com o desenvolvimento do modelo e a Contratada não demonstrar controle gerencial, as informações dos elementos modelados perdem-se, tornam-se defasadas e/ou insuficientes, descaracterizando assim, o produto virtual, do executado. Gerando ainda, um esforço muito maior no acesso às informações, atualizações e compatibilizações na fase final de *as built*.

Por fim, este estudo adotou uma abordagem qualitativa e foi limitado em termos de amplitude da investigação, focado no contexto do estudo de caso. Estudos futuros poderão examinar as questões apresentadas neste artigo, em comparação a outros meios de contratações públicas integradas em BIM (DB – *Design-Build*,

DBB – *Design-Bid-Build* IPD – *Integrated Project Delivery*). Contratações estas, realizadas por outros países, como Singapura, EUA, Canadá [13] e Reino Unido [14], por exemplo. Assim, os desafios encontrados em outros países podem ser comuns ou exclusivos, colaborando para o desenvolvimento de estratégias de superação de barreiras para a ampla adoção do BIM em contratações públicas integradas.

Referências

- [1] Decreto de 5 de junho de 2017 (Dsn 14473), que instituiu o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling (CE-BIM);
- [2] Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020, Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal.
- [3] Decreto n.º 9.983, de 22 agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling.
- [4] Lei n.º 14.133, de 1.º de abril de 2021, Lei de Licitações e Contratos Administrativos: Estabelece normas gerais de licitação e contratação para as Administrações Públicas diretas, autárquicas e fundacionais da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios.
- [5] Lei n.º 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências.
- [6] Lei n.º 12.462, de 4 de agosto de 2011. Institui o Regime Diferenciado de Contratações Públicas – RDC.
- [7] Guias de contratação BIM: diretrizes para licitações BIM. Vol. 3. Coordenação Ricardo Ferreira, Sergio Leusin. 1.ª ed. São Paulo: *BIM Fórum Brasil. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial*, 2023.
- [8] AULETE, Caldas. Dicionário contemporâneo da Língua Portuguesa. 3. ed. Rio de Janeiro: Delta, 1980. v. 5
- [9] R. K. Yin. “Estudo de caso: planejamento e métodos”, 2.ª Edição, Porto Alegre, São Paulo, Bookman, 2001.
- [10] Fiocruz. Contratação de desenvolvimento de projetos de Arquitetura e Engenharias, inclusive redes externas, e respectiva obra de engenharia para construção do Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em Covid-19 e Emergências Sanitárias, nível de biossegurança 2 e 3, no Rio de Janeiro/RJ. Apêndice A - Memorial Descritivo dos Serviços e Diretrizes Técnicas. Coordenação de Projetos e Obras, Cogic, 2021.

- [11] Fiocruz. Caderno BIM Cogic-Fiocruze seus anexos – Cogic, 2022.
- [12] ABNT NBR ISO 19650:2022. "Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção". Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022.
- [13] Bolpagni, M. "The implementation of BIM within the public procurement". VTT Technology 130. 233 p. Espoo, 2013.
- [14] P. Dalui, F. Elghaish, T.Brooks, S.McIlwaine. "Integrated Project Delivery with BIM: A Methodical Approach Within the UK Consulting Sector", *ITcon Vol. 26, Special issue Construction 4.0: Established and Emerging Digital Technologies within the Construction Industry (ConVR 2020)*, pg. 922-935, doi: 10.36680/j.it-con.2021.049, 2021.

Adoção do BIM em contratações públicas – A experiência de 10 anos de aprendizados na Fiocruz

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.39>

**Ana Cuzzatti¹, Gustavo Guimarães²,
Luiz Silva³, Silvia Pereira⁴**

¹ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0008-4733-9657*

² *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0002-3536-8396*

³ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0009-0004-1830-7622*

⁴ *Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, ID ORCID 0000-0003-2071-5372*

Resumo

A Fundação Oswaldo Cruz, vinculada ao Ministério da Saúde do Brasil, é destacada instituição de ciência e tecnologia em saúde na América Latina, pautada nos conceitos de promoção da saúde e desenvolvimento social e geração e difusão do conhecimento científico e tecnológico. Dentre as coordenações ligadas à Diretoria Executiva, há a Coordenação Geral de Infraestrutura dos Campi (Cogic), responsável pelo suprimento de serviços condominiais, planejamento, construção, atualização e manutenção edilícia, de utilidades e redes de infraestrutura. Desde 2014 estabelece em suas contratações a utilização da metodologia BIM, cuja adoção tornou-se estratégica para a qualificação de suas entregas, inovação e revisão de seus processos voltados para AEC e O&M. O objetivo deste artigo é apresentar a trajetória de contratação e fiscalização de projetos, cadastro por nuvem de pontos com modelagem BIM, planejamento de Central Integrada de Comando e Controle, elaboração de diretrizes tecnológicas, plano para gestão de ativos e prova de conceito de gestão e operação com modelo BIM. Serão apresentados o caminho de aprendizados, o benefício da gestão integrada e sinérgica e domínio qualificado de todo o ciclo de vida do ativo de infraestrutura. Em alinhamento às metas do Governo Brasileiro, a Fiocruz avança na adoção do BIM.

1. Introdução

A Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), uma instituição de ciência e tecnologia em saúde, vinculada ao Ministério da Saúde do Brasil, tem por objetivo a produção, a disseminação e o compartilhamento de conhecimentos e tecnologias voltados para o fortalecimento e a consolidação do Sistema Único de Saúde (SUS). Sua presença no cenário brasileiro tem contribuído para a promoção da qualidade de vida da população brasileira.

A Fiocruz está instalada em 11 estados, sendo a sede no Rio de Janeiro. Ao todo, são 16 unidades técnico-científicas, voltadas para ensino, pesquisa, inovação, assistência, desenvolvimento tecnológico e extensão no âmbito da saúde. Na estrutura de gestão, vinculada à Diretoria Executiva da Presidência, se localiza a Coordenação-Geral de Infraestrutura dos Campi, que tem como atribuição o gerenciamento do espaço físico da instituição, provendo soluções inovadoras e sustentáveis de infraestrutura. Para cumprir sua missão a Cógic se organiza em quatro grandes áreas: (a) Coordenação de Engenharia e Manutenção; (b) Coordenação de Projetos e Obras; (c) Coordenação de Serviços Operacionais; (d) Coordenação de Administração.

Para a Fiocruz, que desde 2014 estabelece em suas contratações de projeto a utilização da metodologia BIM (*Building Information Modelling*), a sua implantação na Cógic tornou-se uma grande oportunidade para a melhoria dos seus processos: desde o desenvolvimento de estudos de viabilidade, projetos, planejamento e execução de obras, fiscalização de seus contratos, manutenção e operação, estudos para *retrofits* e atualização cadastral de suas edificações. Assim, tem-se em vista o benefício de domínio real e qualificado de todo o ciclo de vida de seus empreendimentos, a partir da adoção desta metodologia, com todo o seu potencial, vantagens e desafios.

Em 2019, apresentou-se em artigo “A implementação da abordagem e tecnologia BIM nos processos de gestão da Fiocruz”, e naquele momento discorreu-se sobre o caminho trilhado. O texto versa sobre as primeiras contratações de projetos em BIM, da implantação de um laboratório com o objetivo de organizar e sistematizar as informações, produtos e processos, de capacitações e do diagnóstico do parque tecnológico e da equipe [1].

No presente artigo, serão elencados os projetos de maior relevância aos longo de 10 anos de trajetória da adoção do BIM nos contratos e que contaram com a participação de todos os setores da Cógic, seja na pesquisa, seja na adaptação dos editais, seja na fiscalização dos contratos, seja na mobilização para participação das oficinas e eventos de capacitação, seja nas experiências internas de modelagem ou elaboração de documentos como o Caderno BIM (EIR – Requisitos de Troca de Informação), bem como, na participação da prova de conceito de gestão de ativos com modelos BIM.

Assim, este artigo também busca trazer a visão crítica de todo o processo e de toda a trajetória até aqui. Certamente que tudo o que se viveu e que se vive em relação à adoção do BIM pela Cógic-Fiocruz precisa ser valorizado como experiência, seja para

melhoria em futuras contratações e procedimentos de fiscalização dos produtos BIM, seja para avançar na transformação digital tão fomentada pelo Governo Brasileiro, em consonância com os objetivos da Estratégia BIM-BR [2], seja para sempre seguir em movimento, em busca das melhores soluções e inovações.

2. Objetivo e método

O objetivo deste artigo é apresentar a trajetória da Cogic/Fiocruz na adoção da metodologia BIM, ao longo de 10 anos, trazendo análise crítica das principais contratações frente às legislações e normativas relacionadas ao BIM, bem como os benefícios, as dificuldades e as limitações destas contratações. A Figura 1 apresenta o fluxo de trabalho realizado pelos autores, ilustrando as etapas que foram percorridas durante a elaboração do presente artigo.

O método utilizado para a elaboração do artigo foi de revisão bibliográfica, pesquisa exploratória e estudo de caso. Segundo Yin [9], o estudo de caso baseia-se em uma estratégia de pesquisa em busca do entendimento de um fato atual em todo o seu contexto com abordagens específicas, coleta de dados e informações para que se possa elaborar uma completa análise sobre os fatos ocorridos por meio das questões envolvidas, as quais serão estudadas.

A pesquisa documental foi realizada em contratos, termos de referência, relatórios de produtos contratados, normas e legislações brasileiras. O método de pesquisa foi desenvolvido a partir das etapas, conforme Figura 1.

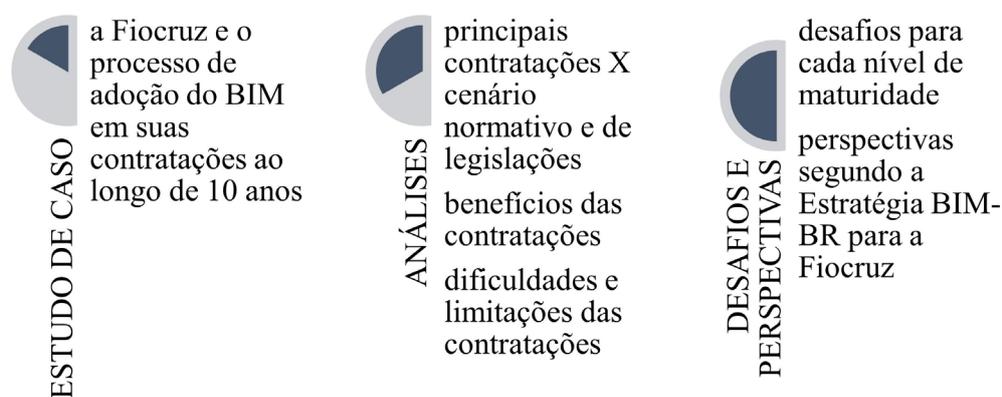


Figura 1
Método de pesquisa.

3. Estudo de caso – A trajetória da adoção do BIM pela Cogic-Fiocruz

Serão apresentados projetos relevantes com o uso do BIM e que retratam a trajetória de adoção da metodologia, sempre na busca por melhores estratégias de abordagem do tema, tanto para as equipes técnicas quanto para a alta gestão da instituição. Compreendendo que os gestores precisam ter ciência dos avanços e consequentes

benefícios do uso do BIM e, ao mesmo tempo, compreender que tal mudança representa um grande desafio.

3.1. Contratação de projetos e obras em BIM – uma estratégia para melhoria de desempenho no planejamento e na entrega das obras

Com o processo iniciado em 2014 e até hoje, evidencia-se o grande esforço dos diversos atores envolvidos no processo, objetivando estabelecer requisitos para contratação e premissas de entrega da documentação relativa aos projetos e produtos contratados com o uso do BIM.

Figura 2

Projeto Fiocruz-Minas – 48.600 m² de área laboratorial, corporativa e técnica, distribuídas em 4 pavimentos úteis com mais 4 pavimentos técnicos intercalados.



Nas primeiras contratações, como a do projeto para a nova sede da Fiocruz em Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 2), a Cogic ainda não possuía um Caderno BIM, com protocolos e requisitos específicos da organização para fornecer às empresas contratadas. Foi, portanto, fornecido como referência o Caderno BIM de Santa Catarina, documento crucial para as entregas dos projetos, que afinal foram consideradas he-sitosas pela Cogic e pela comunidade Fiocruz.

Além dos projetos desenvolvidos na metodologia BIM, propriamente ditos, foram solicitados produtos ligados à compatibilização em ferramentas específicas, com emissão de relatórios automáticos de interferências entre as disciplinas, ao orçamento e planejamento da obra. Nos contratos seguintes, houve tentativas de se contratar simulações de eficiência energética das edificações projetadas [6].

Em paralelo aos contratos com as empresas projetistas, foram contratadas gerenciadoras que apoiavam a fiscalização dos contratos de projetos e produtos BIM, fator determinante também para o sucesso das entregas, pois tratava-se de uma mudança significativa nos processos de acompanhamento do desenvolvimento dos projetos e de verificação das não conformidades.

Outros projetos de grande porte foram contratados também, neste mesmo período, em BIM, como a nova sede para a Fiocruz, em Rondônia, o Polo Administrativo e o Polo de Laboratórios do Instituto Oswaldo Cruz (IOC), estes últimos dois no campus de Manguinhos, no Rio de Janeiro.

3.2. Modelagem a partir da nuvem de pontos – uma estratégia para atualização cadastral

Em 2018, ocorreu a primeira contratação de modelagem BIM a partir de um levantamento “*as is*” por nuvem de pontos, realizada pela Cogic-Fiocruz. Trata-se do levantamento e da modelagem do edifício da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP), com onze pavimentos e 12.151,07 m² de área total construída.

Dentro desta contratação, além do serviço de captação da nuvem de pontos por scanner a laser e da modelagem BIM propriamente dita, foi prevista a transferência de conhecimento na execução destes serviços pela empresa contratada para todos os profissionais da Coordenação de Projetos e Obras. Estas informações serviram tanto para o enriquecimento do tema BIM na CPO quanto para a melhoria dos futuros processos de contratação.

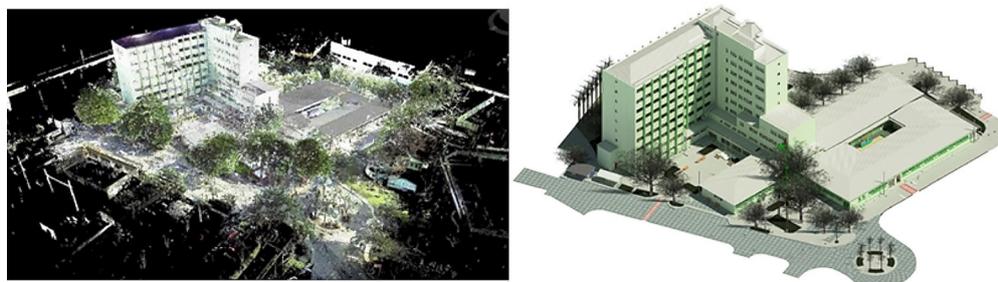


Figura 3
Imagem da nuvem de pontos captada a partir do serviço de levantamento utilizando-se o laser scanner e a modelagem BIM realizada baseando-se nesta nuvem de pontos [1].

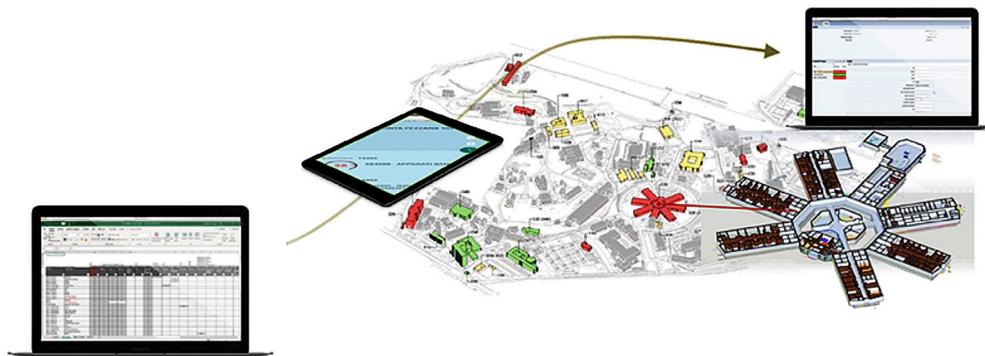
A Figura 3 apresenta uma imagem da nuvem de pontos captada a partir do serviço de levantamento, utilizando-se o laser scanner. E modelagem BIM ao lado na mesma figura foi realizada baseando-se nesta nuvem de pontos.

3.3. Central Integrada de Comando e Controle – uma estratégia de planejamento para monitoramento e gestão de ativos de infraestrutura

Em 2019, na contratação do Plano de Diretrizes Tecnológicas e Gestão de Ativos (PDT&GA), com base no BIM 7D COBie, buscou-se estabelecer critérios e requisitos para o projeto do sistema de gestão do Campus de Manguinhos da Fiocruz, localizado no Rio de Janeiro, integrado com a metodologia BIM e os sistemas de automação e controle dos diferentes sistemas e instalações. Para isso, o escopo dos serviços contratados consistiu nos seguintes produtos: Levantamento de informações (normas relacionadas, levantamento das construções, sistema e equipamentos, mapeamento de processos “*as is*”, identificação da Política de Gestão de Ativos de Infraestrutura da Fiocruz e diagnóstico); Plano de Diretrizes de Automação; Arquitetura de Sistema de Tecnologia; Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica para a implantação dos sistemas; Planejamento e Estratégia de Implantação; Programa de Necessidades para a Central Integrada de Comando e Controle; e apoio às futuras licitações.

Com o início dos serviços de levantamentos dos ativos edifícios e de sistemas e equipamentos pela contratada, evidenciou-se que a necessidade de centralização de informações ao longo do ciclo de vida de um ativo desempenha um papel fundamental na eficiência do gerenciamento das construções, tanto na operação como na manutenção. Além disso, verificou-se que um passo importante para o estabelecimento de um sistema de gestão integrada será a representação virtual do ambiente construído, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4
Necessidade de integração do ambiente físico como ambiente virtual do Campus de Manguinhos [7].



Para fazer a integração das informações se faz necessário que o campus de Manguinhos tenha uma infraestrutura que gere e monitore dados dos ativos, de maneira inteligente, a partir de uma base que é gerada na fase de projeto, incrementada durante a obra e que é mantida atualizada durante a fase de operação.

Desta forma, tratando-se da infraestrutura necessária para a integração das informações para a gestão de ativos da Fiocruz em Manguinhos, dentro deste mesmo contrato, um dos seus produtos consiste no projeto para a Central Integrada de Comando e Controle (CICC). Assim, para o programa de necessidades da CICC, foram levados em conta os objetivos principais de supervisão das várias unidades e seus edifícios em suas várias disciplinas, de forma que estes possam ser integrados e monitorados permitindo assim a otimização e o melhor desempenho de todos os ativos [7].

3.5. Gestão de ativos e gestão da manutenção com modelos BIM – uma estratégia para a consolidação do novo modelo de negócio

Ainda no contrato do PDT&GA, vislumbrou-se a oportunidade de incremento do escopo, proporcionando à equipe da Covic, uma experiência aproximada dos novos processos, das novas tecnologias e ferramentas necessárias para a operação de um futuro sistema integrado de gestão de ativos de infraestrutura, bem como da incorporação da metodologia BIM nestes novos processos.

Sendo assim, alguns serviços e produtos foram acrescentados de maneira a diminuir as lacunas de conhecimento e de experiência da equipe da CPO e do CEM nas diversas tecnologias envolvidas: Definição de protocolos BIM com elaboração do Caderno

BIM Cogic-Fiocruz, capacitação da equipe da CPO em ferramentas de projeto; Aplicação e exercício BIM 7D COBie, com a validação dos modelos BIM utilizados na prova de conceito, capacitação da equipe da CEM em plataforma “*Integrated workplace management system*” (IWMS) para a gestão de espaços e ativos, manutenção preventiva, e corretiva e a simulação propriamente dita com a imersão da equipe no uso das ferramentas.

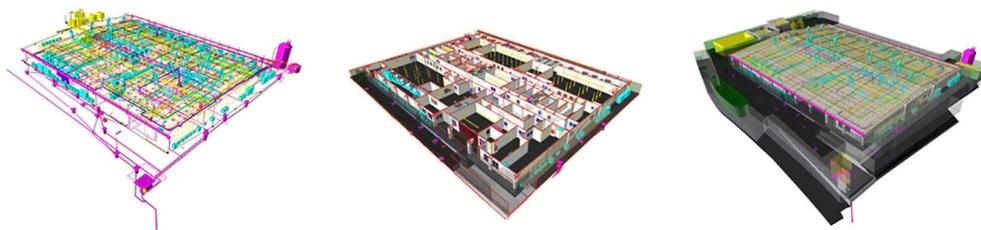


Figura 5
Utilização dos modelos BIM da Unadig-RJ na prova de conceito, utilizando o Archibus.

A Figura 5 apresenta as imagens dos modelos da Unadig-RJ utilizados no Archibus na prova de conceito onde foram simuladas a gestão de manutenção corretiva e preventiva, a gestão dos espaços e a gestão de ativos.

A elaboração do Caderno BIM Cogic-Fiocruz teve como base a NBR ISO 19650:2022, que padroniza a organização e digitalização de informações sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo o BIM, além do levantamento de requisitos de informações de cada disciplina [7].

3.6. Contratações Integradas de Projeto e Obra em BIM

Em função da pandemia de Covid-19, em 2020, ocorreram contratações de obras, em caráter emergencial para atendimento à questões estratégicas de enfrentamento e ampliação de atendimento à população brasileira, motivadas pela missão institucional de apoio ao SUS e respaldada pelo Ministério da Saúde como referência nacional de combate à Covid-19.

Tais contratações emergenciais, utilizaram o modelo de contratação integrada (projeto e obra) e também foram realizadas considerando a metodologia BIM, como o Centro Hospitalar e Unidades de Apoio ao Diagnóstico da COVID-19 (Unadig-RJ), o Biobanco e o Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCES) (Figura 6).

O maior desafio para as contratações integradas e emergenciais é o curto prazo para o desenvolvimento dos projetos e , especialmente em BIM.

Figura 6

Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias (CPIVCS).



4. Desafios e resultados das contratações em BIM

Ao analisar a trajetória de 10 anos de adoção do BIM pela Cogic-Fiocruz, percebem-se grandes benefícios e também grandes desafios. Os benefícios de contratações em BIM são já consagrados pelo mercado. Os desafios para uma organização da administração pública no Brasil são inúmeros, que vão desde a definição de estratégias de capacitação da equipe até a aquisição de softwares, que passa por processo criterioso de licitação.

Outras contratações como a experiência da modelagem BIM, a partir da nuvem de pontos, resultou para a Fiocruz o entendimento de que é necessário buscar ainda uma estratégia de atualização cadastral mais eficiente e objetiva. Estabelecer requisitos de informação para cada uso pretendido. Se o modelo será usado para desenvolvimento de projetos de retrofit, os requisitos de informação geométrica podem ser mais sofisticados, especialmente na parte civil. Se o modelo será usado para a gestão de ativos de infraestrutura, podem ser estabelecidos requisitos de informação geométrica mais simples, porém os de informação não geométrica necessitam de ser mais detalhados e específicos para o melhor desempenho no controle e monitoramento de sistemas e de equipamentos.

Esta experiência ainda trouxe para a organização uma ótima perspectiva de que o caminho da transformação e da centralização da informação digital a partir de modelos BIM é necessário, importante e fundamental a ponto de se entender e valorizar o investimento em esforços, estudos e outros contratos para o amadurecimento sobre a questão pelos diversos intervenientes.

Importante ressaltar que esta contratação serviu e serve como referência para outras instituições, incluindo o próprio Ministério da Saúde, universidades federais, e outros órgãos da administração que buscam estratégias para a atualização cadastral eficaz de seus ativos de infraestrutura.

A Figura 7 apresenta os requisitos de informação presentes na ISO 19.650, presentes também nos recursos e resultados das contratações BIM pela Cogic-Fiocruz. Esta norma teve a sua versão para o Brasil publicada pela ABNT em 2022 [8].

O quadro síntese (Figura 8) apresenta os desafios e os resultados ao longo dos 10 anos de adoção do BIM em contratações pela Cogic-Fiocruz, a partir dos recursos existentes e dos usos BIM propostos, como o apoio das normativas e legislações que avançaram a cada ano.

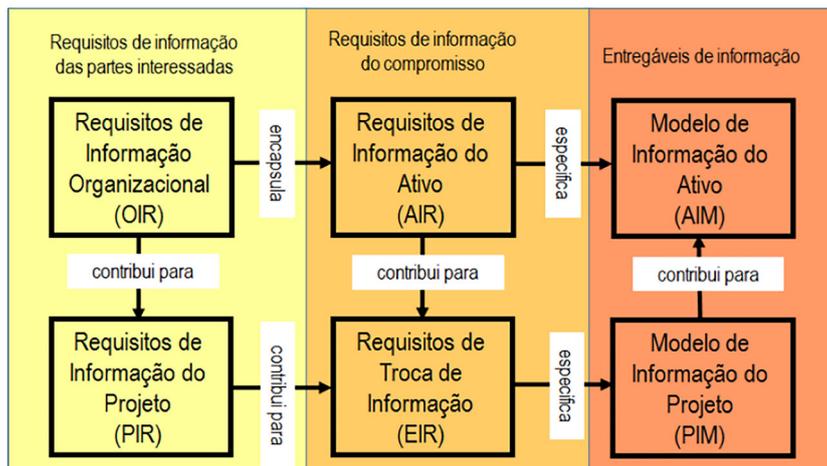


Figura 7 Requisitos de informação presentes na ISO 19.650, presentes também nos recursos e resultados das contratações BIM pela Cogic-Fiocruz.

ANO	CONTRATOS	USOS BIM	MATURIDADE / RECURSOS EXISTENTES			BIM NO BRASIL	ESTRATÉGIAS PARA O SUCESSO DA CONTRATAÇÃO	INFORMAÇÕES ENTREGUES / RESULTADOS
			CAPACITAÇÃO	PROCESSOS / PROTOCOLOS / REQUISITOS	TECNOLOGIA			
2014-2016	Projeto de arquitetura e engenharias da nova sede da Fiocruz no Estado de Minas Gerais, em 2014; da nova sede da Fiocruz no Estado de Rondônia, em 2015; do Polo Administrativo no Campus de Manginhos-RJ, em 2015 e do Polo IOC no Campus de manginhos-RJ, em 2016	Projeto	Poucos Arquitetos capacitados em software BIM; baixo uso em projetos	Requisitos de Informação de Projetos (PIR)	Licenças de softwares BIM inexistentes; CDE inexistente	ABNT NBR 15965-1, 15965-2, 15965-3, 15965-7; Guias da Asben I e II, Caderno de Apresentação de Projetos em BIM-BIM; CIBIC - Coletânea Implementação BIM - Construtoras e Incorporadoras;	Contratação de Gerenciamento em BIM; Contratação do CDE fornecido pela empresa projetista; Formação do Lab-BIM para apoio à fiscalização dos produtos contratados	Modelo de Informação do Projeto (PIM)
2017-2018	Levantamento cadastral, por nuvem de pontos com modelagem BIM, de uma edificação de ensino no Campus Manginhos, no Rio de Janeiro, em 2018	Levantamento das Condições Existentes	Poucos Arquitetos capacitados em software BIM	Requisitos de Informação de Projetos (PIR)	4 Licenças de softwares BIM; 4 computadores compatíveis; CDE inexistente	Criação do CE-BIM e do GAT-BIM Governo Federal; ABDE-MDIC - Coletânea Processo e Contratação de Projetos BIM; ISO 19650-1, 19650-2; Publicação do Decreto Federal nº 9.377/2018 que dispõe sobre a Estratégia BIM-BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia	Exigência do Plano de Execução BIM; Contratação de transferência de tecnologia sobre modelagens BIM a partir de nuvem de ponto	Modelo de Informação do Ativo (AIM)
2019	Consultoria para implantação de uma Central Integrada de Comando e Controle do Campus Fiocruz Manginhos, no Rio de Janeiro, com elaboração de diretrizes tecnológicas e plano para gestão de ativos, em 2019	Planejamento, definição de protocolos com registros de informação, capacitações e tecnologias necessárias	Capacitação de Arquitetos e Engenheiros em Softwares BIM durante o contrato	Requisitos de Informação de Projetos (PIR)	Definição das tecnologias e infraestrutura de TI necessárias para a transformação digital requerida na gestão de ativos	Publicação do Decreto Federal nº 9.983/2019 que dispõe sobre a Estratégia BIM-BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia	Contratação de capacitação em softwares BIM e na plataforma IWMS; Contratação do Caderno BIM - Requisitos de Troca de Informação (EIR)	Mapeamento de Processos AS IS e TO BE; Requisitos de Informação do Ativo (AIR); Requisitos de Troca de Informação (EIR)
2020	Prova de conceito de gestão/operação da infraestrutura de uma edificação de Testagem de Covid-19, com modelo BIM e ferramenta IWMS, em 2020	Operação e Manutenção	Capacitação de Técnicos e Engenheiros de Manutenção na plataforma IWMS durante o contrato	Modelo de Informação do Projeto (PIM)		Publicação do Decreto Federal nº 10.306/2020 que estabelece a utilização do BIM na execução direta e indireta de obras e serviços de engenharia pela administração pública federal	Contratação de Plataforma IWMS para prova de conceito de utilização de modelos BIM na gestão de ativos	Troca de Informação (EIR)
2021-2022	Projetos de arquitetura e engenharias, inclusive redes externas, e respectiva obra de engenharia para construção do Centro Hospitalar, Unidades de Apoio ao Diagnóstico da Covid-19 (RJ e CE) e Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em Covid-19 e emergências sanitárias, nível de biossegurança 2 e 3, no Rio de Janeiro/RJ	Projeto e Obra	Arquitetos e Engenheiros capacitados em softwares BIM; baixo uso em desenvolvimento de projetos; médio uso em verificação de modelos contratados	Requisitos de Informação de Projetos (PIR); Requisitos de Informação de Ativos (AIR)	Licença de softwares BIM; CDE inexistente	Publicação da Lei Federal nº 14.133/2021 que dispõe sobre a preferência de adoção de BIM nas licitações de obras e serviços de engenharia; ABNT NBR 19650-1/2022; NBR 19650-2/2022	Contratação de CDE fornecido pela empresa projetista; Contratação de Plataforma de Monitoramento de Obra 360º com integração às modelagens BIM;	Modelo de Informação do Projeto (PIM); Modelo de Informação do Ativo (AIM)
2023-2024	Serviços de gestão de facilidades prediais - Facility Management - aplicado ao Campus Maré Fiocruz-RJ	Full Facilities	Técnicos e Engenheiros Capacitados em Softwares BIM e na plataforma IWMS; baixo uso em operação e manutenção	Requisitos de Informação de Projetos (PIR); Requisitos de Informação de Ativos (AIR); Requisitos de Troca de Informação (EIR); Modelo de Informação do Ativo (AIM) - das das principais edificações	Licença de softwares BIM; CDE inexistente	Publicação do Decreto Federal nº 11.888/2024 que dispõe sobre a Estratégia BIM-BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia	Contratação de Plataforma IWMS; Contratação de Plataforma de Monitoramento de Obra 360º com integração às modelagens BIM (informações de obra para apoio à gestão de facilities)	Modelo de Informação do Ativo (AIM) em constante atualização

Figura 8 Quadro síntese dos desafios e resultados das contratações BIM pela Cogic-Fiocruz.

A partir de 2020, foram elaborados protocolos mais específicos, com requisitos de informação de ativos para os modelos BIM, e a Cogic, finalmente, pode contar com seu Caderno BIM, este desenvolvido no contrato do Plano de Diretrizes Tecnológicas e Gestão de Ativos (PDT&GA)

Com a experiência adquirida com o passar dos anos contratando projetos em BIM, a Cogic estabeleceu requisitos de informação concentrados não somente nas demandas projeto-obra e ampliou a compreensão do BIM como meio fundamental para gestão de manutenção e operação, tendo, dessa forma, o uso do BIM de forma mais abrangente desde do início do ciclo de vida do empreendimento.

Cabe destacar, portanto, que, ao longo destes anos de contratação de projetos em BIM, os requisitos de informação apresentados nos termos de referência passaram a não se concentrar somente nas fases de projeto, mas passaram a ser mais definidos com o objetivo de utilização dos modelos BIM no pós-obra, ou seja, pela equipe da Coordenação de Engenharia de Manutenção (CEM), especialmente nas contratações integradas de projeto e obra. A ampliação dos usos BIM na Cogic resultou na apropriação das informações dos ativos visando a operação e manutenção de forma mais eficiente, estendendo assim o uso do BIM a todo o ciclo de vida dos ativos de infraestrutura.

4.3. Perspectivas para a Fiocruz

No contexto da Fiocruz, as mudanças operacionais do processo produtivo de infraestrutura têm que estar alinhadas às mudanças de seu modelo de negócios. Esta implantação implica na necessidade de: a) identificação e classificação das equipes para estruturação de processo de capacitação de todo o corpo técnico e gerencial; b) desenho e implantação de novos processos, inclusive assegurando maior integração entre as equipes e políticas de gestão do ambiente construído; c) elevados investimentos em tecnologia de hardware e de software; d) comunicação e cooperação em plataforma com informações multidisciplinares do ambiente construído da instituição, para desenvolvimento e contratação de projetos de arquitetura e engenharia, para o acompanhamento e fiscalização de obras e para a gestão de ativos de infraestrutura, no âmbito dos campi da Fiocruz.

Com a experiência adquirida, a Cogic aprofundou os requisitos de informação concentrados não somente nas demandas projeto-obra, ampliando a compreensão do BIM com metodologia central na modernização e qualificação da engenharia de manter e operar, buscando dessa forma, o uso do BIM de modo amplo e integral, desde o início do ciclo de vida do empreendimento, ainda na etapa de concepção do projeto estabelecendo soluções que assegurem um desempenho ótimo na fase de operação. A ampliação de usos BIM na Cogic traz um protagonismo ao pós-obra, com requerimento à equipe de engenharia de manutenção de apropriar-se das informações dos ativos visando a operação e manutenção de forma mais eficiente.

O avanço deste entendimento resulta, em 2023, no estabelecimento de um novo Campus, o Campus Maré. Nesse Campus, onde novos empreendimentos foram edificados

no processo de enfrentamento a pandemia, os processos de contratação de projeto e obra foram permeados por premissas de operação e manutenção com fomento e orientação de integração a todas as equipes da Cogic. Dado o pequeno prazo desde o planejamento até a entrada em operação, o dinamismo do processo favoreceu uma maior articulação entre os atores de infraestrutura.

No fim de 2023, com o Campus Maré em operação se estabeleceu um novo arranjo administrativo para a gestão de infraestrutura, o modelo de full facilities. Além do novo arranjo administrativo o escopo do contrato considera o uso do BIM enquanto conceito no tratamento integrado do ciclo de vida dos ativos e, de forma direta, na adoção do modelo BIM para gestão de duas das edificações que estão na Maré - o Centro de Pesquisa, Inovação e Vigilância em COVID-19 e Emergências Sanitárias, com 11.400 m² de área laboratorial distribuídas em 2 pavimentos úteis e um técnico, além de 1.600 m² de utilidades e o Biobanco com 1.200 m² de área construída e 580 m² de utilidades. Os modelos serão usados na gestão das diversas atividades desde a manutenção predial e de sistemas até a limpeza e conservação, vigilância patrimonial, combate a incêndio e pânico, entre outros. Consideramos que o êxito de processos dessa natureza, no Brasil dependerá de uma série de questões onde destacamos a necessidade de revisão do perfil bem como a valorização do profissional que atua na operação e manutenção.

5. Considerações finais

A adoção do BIM implica na necessidade de capacitação das equipes e maior interação entre elas, no desenho e divulgação de novos processos, nos investimentos em tecnologia de hardware e de software, além da demanda de comunicação e cooperação em plataforma com informações multidisciplinares dos empreendimentos da Fiocruz. Não somente para desenvolvimento e contratação de projetos de Arquitetura e Engenharias, como para o acompanhamento e fiscalização de obras e para a gestão de ativos de infraestrutura, no âmbito dos campi da Fiocruz.

No decorrer dos últimos anos, frente ao avanço das tecnologias, o estabelecimento de uma lógica contínua de investimentos em TIC para a área de infraestrutura se torna fundamental para enfrentar os desafios apresentados pela constante transformação digital da última década. Nesse cenário, a compreensão dos diversos processos da área de arquitetura, engenharia, construção e operação motiva a aquisição de soluções de TIC alinhadas com os processos de trabalho e baseada nos requisitos previamente levantados.

Referências

- [1] S. M. S. A. Pereira, M. C. Correia. "Implementação da abordagem e tecnologia BIM no processo de gestão na FIOCRUZ". *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*. vol. 10. e019014. March 2019. doi: 10.20396/parc.v10i0.8653755.

- [2] DECRETO N.º 10.306, de 2 de abril de 2020, Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto n.º 9.983, de 22 de agosto de 2019.
- [3] R. K. Yin. "Estudo de caso: planejamento e métodos", 2.ª Edição, Porto Alegre, São Paulo, Bookman, 2001.
- [4] L. M. A. Zambrano. "Integração dos princípios da sustentabilidade ao Projeto de Arquitetura". Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- [5] S. R. L. Amorim. Roberto Leusin de. Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2018.
- [6] Fiocruz. Modelo padrão do Termo de Referência para contratação de serviços por licitação. Documento interno da Coordenação de Projeto e Obras – CPO-Cogic, 2023.
- [7] Fiocruz. Relatório eFM – Programa de Necessidades dos ambientes destinados a uma Central de Operações para a Gestão de Ativos da Infraestrutura da Fiocruz e consolidação do PDT&GA, 2022.
- [8] ABNT NBR ISO 19650:2022. "Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção". Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2022.

BIM na gestão pública: Tópicos para a contratação de projetos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.40>

**Eduardo Nardelli¹, Miguel Azenha²,
Carlos Mingione³, João Pires⁴, Stefania Dimitrov⁵,
Natasha Sotovia⁶, João Gaspar⁷, Rodrigo Alvarado⁸**

¹ *Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, 0000-0002-8519-3213*

² *Universidade do Minho, IRISE, ARISE, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal, 0000-0003-1374-9427*

³ *SINAENCO Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva, São Paulo, Brasil, 0009-0008-8819-2903*

⁴ *Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil 0000-0003-4821-6217*

⁵ *Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil 0009-0003-6330-7499*

⁶ *Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil 0009-0006-6258-5931*

⁷ *Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 0000-0001-8601-9420*

⁸ *Universidad del Bío-Bío, Chile, 0000-0003-2216-2388*

Resumo

No atual cenário brasileiro, tanto no setor público quanto no privado, observa-se um crescente interesse na promoção do uso do BIM nos serviços de arquitetura e engenharia. No entanto, a sua adoção pelo setor público requer a definição de marcos regulatórios e orientativos objetivos e universais que, no Brasil, têm frequentemente apresentado lacunas significativas e informações contraditórias criando obstáculos para o processo de adoção do BIM. Neste sentido, a pesquisa apoiada pelo SINAENCO, em parceria com a Universidade Presbiteriana Mackenzie, tem como objetivo desenvolver um "Guia de Boas Práticas de Contratação em BIM para o setor público" indicando os tópicos essenciais que precisam constar nos termos de referência destas contratações, procurando, assim, sanar estas deficiências. A pesquisa utiliza um processo metodológico que tem início com a coleta de informações relacionadas a contratações BIM por meio de revisão sistemática de literatura de artigos que abordam a temática, análise comparativa de regulações e diretrizes expressas em documentos orientativos e em editais de licitações e a validação do resultado da análise comparativa por meio de um seminário com profissionais do setor. Os dados foram coletados e organizados de forma sistemática para que se tornem subsídios para a consolidação das diretrizes que estruturam a elaboração do guia. Este trabalho investigativo conta com a colaboração da Universidade do Minho, Portugal, e da Universidad del Bío-Bío, Chile. Em fase de desenvolvimento, o trabalho busca contribuir efetivamente para a adoção do BIM no Brasil.

1. Introdução

Desde a edição do Decreto 9.377/18[1], que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil – Estratégia BIM-BR, com o objetivo de “promover um ambiente adequado ao investimento em *Building Information Modelling* – BIM e sua difusão no País”, várias ações têm sido realizadas no país para a adoção do BIM pelo setor público. Dentre elas, a publicação de marcos regulatórios, guias, manuais e cadernos contendo diretrizes para a contratação de projetos e obras.

Estes documentos, no entanto, frequentemente apresentam lacunas significativas e informações contraditórias que podem criar obstáculos relevantes e até mesmo comprometer a ampla participação dos prestadores de serviços, contrariando assim o objetivo fundamental dos processos licitatórios, que é o de assegurar a legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência na realização dos certames.

2. Justificativa

O BIM ganhou relevância efetiva no Brasil apenas quando o crescimento do mercado imobiliário, entre os anos 2008 e 2014, impôs ao setor o desafio de gerenciar centenas de empreendimentos concomitantes a distâncias continentais entre si e os principais atores do setor reconheceram o seu potencial para gestão e desenvolvimento de seus empreendimentos [2].

Neste contexto foi instalada a Comissão de Estudo Especial 134 (CEE-134) pela ABNT, que teve como primeiro desafio consolidar o sistema brasileiro de classificação da informação da construção, estruturado pela ABNT NBR ISO 12006-2:2018 [3], que dá as diretrizes gerais para a construção de sistemas de classificação da informação da construção e a ABNT NBR 15965-1:2011 [4], que determina a terminologia e a estrutura para o sistema brasileiro de classificação da informação da construção. Desde sua instalação, a CEE-134 publicou quatorze Normas Brasileiras (NBRs) e uma Prática Recomendada (PR) [5].

Na sequência, a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) lançou a *Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras*, composta por cinco volumes e o guia *10 Motivos para Evoluir com BIM* [6]. Trabalho que se soma ao Guia AsBEA de Boas Práticas em BIM lançado três anos antes, pela Associação Brasileira de Escritórios de Arquitetura (AsBEA) [7].

Em seguida, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), vinculada ao MDIC, lançou a *Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC*, conjunto de seis guias sobre o processo BIM, desde as definições básicas até as recomendações para a sua implementação em instituições contratantes e empresas contratadas.

Neste contexto, em junho de 2017 foi assinado o Decreto 14.473/17, criando o Comitê Estratégico de Implementação do BIM (CE-BIM), grupo interministerial

coordenado pelo MDIC que viabilizou a edição do Decreto 9.377/18, instituindo a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil – Estratégia BIM-BR [1].

No ano seguinte, foi editado o Decreto 10.306/20, estabelecendo o uso do BIM em serviços de engenharia e realização de obras, direta ou indiretamente, pelos órgãos públicos da administração federal, seguindo os parâmetros definidos pela Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* – Estratégia BIM-BR [8].

Alinhando-se a esta agenda, em junho de 2020, a Secretaria de Habitação do Município de São Paulo publicou o *Caderno de Projetos em BIM* [9] estabelecendo todos os procedimentos, etapas e requisitos de informações para o desenvolvimento de projetos de habitações de interesse social em BIM para este órgão do governo paulistano.

Em abril de 2021 foi aprovada a Lei 14.133/21, que estabelece um novo marco legal para a realização de licitações e contratações no âmbito das Administrações Públicas diretas, autárquicas e fundacionais da União, Estados, Distrito Federal e Municípios brasileiros, explicitando em seu Art. 19, Inciso V, parágrafo 3.º que o BIM será preferencialmente adotado nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequado ao objeto da licitação, atestando a intenção da administração pública de definitivamente promover a sua adoção [10].

Na sequência, o Governo do Estado do Paraná publicou o Decreto 10.086/22, com o objetivo de regulamentar a Lei 14.133/21 em âmbito estadual, prevendo no Art. 513 a obrigatoriedade, no contexto da administração pública direta, autárquica e fundacional do Estado do Paraná de adoção da metodologia BIM (*Building Information Modelling* ou Modelagem da Informação da Construção) de acordo com o regramento estabelecido na sequência do Título II, Capítulo VII, Seção I deste diploma legal [11].

Além destes, outros documentos poderiam ser citados, como o Manual de Projetos Aeroportuários, parceria entre a Secretaria Nacional de Aviação Civil do Ministério da Infraestrutura (SAC-MINFRA) publicado em 2021 [12] e a coletânea de Guias de Contratação em BIM, publicados em 2023 pelo BIM Forum Brasil (BFB).

Tais documentos compõem um amplo referencial de normas e procedimentos não homogêneos entre si, constituindo a oportunidade desta pesquisa, cujo objetivo é promover a sua revisão, buscando identificar lacunas significativas e informações contraditórias, para sanar essas deficiências com a publicação do “Guia de boas práticas de contratação em BIM” do SINAENCO.

3. Procedimentos metodológicos

A metodologia da pesquisa foi dividida em três etapas: compreensão do problema, análise de alternativas e definição de diretrizes para a elaboração do Guia.

Para a realização da primeira etapa, que apresentamos neste artigo, foi utilizado o método de Revisão Sistemática de Literatura (RSL), Por ser “um método sistemático,

explícito, (abrangente) e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar o corpo existente de trabalhos completos e registrados produzidos por pesquisadores, estudantes e profissionais” [13], que permite uma visualização facilitada do panorama de pesquisas sobre um determinado tópico, possibilitando a organização de suas informações de acordo com o foco da pesquisa.

A estruturação do protocolo de busca da RSL foi baseada no Manual de Revisões Sistemáticas da Cochrane [14], que estabelece como o protocolo de uma RSL “documentar o processo de pesquisa com detalhes suficientes para garantir que ele possa ser relatado corretamente na revisão.” Portanto, deve ser realizado de modo que todas as etapas sejam explicitadas e as escolhas, inclusões e exclusões sejam explanadas para garantir sua reprodutibilidade e compreensão dos resultados. Todo “o processo de exclusão de fontes (e inclusão) deve ser o mais transparente possível para que a revisão comprove a credibilidade” [15].

O escopo desta pesquisa é sobre o tema “Guias de contratação em BIM para o setor público” em artigos científicos em inglês publicados em periódicos indexados às bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e *Scielo*. A delimitação espacial adotada foi a global e a delimitação temporal foi definida entre o início de 2018 a outubro de 2023 - data da busca -, com o propósito de se obter uma perspectiva atual sobre o tema e não incluir informações potencialmente obsoletas. O idioma inglês foi escolhido por possuir uma quantidade de artigos suficientes para uma revisão.

3.1. Protocolo da RSL

1. Definição do tópico guias de contratação em BIM para o setor público e do objetivo de verificar o estado de arte de artigos científicos que o abordam.
2. Escolha pelo método de RSL, pois este melhor se adequa às necessidades do objetivo definido.
3. Desenvolvimento da fundamentação teórica sobre a temática pela leitura de textos e guias sobre contratação em BIM para a gestão pública “concentrada em trabalhos que foram centrais ou essenciais para a área” [16 adaptado] de acordo com a equipe de pesquisa, como o caderno de especificações da COHAPAR [17] e o Statsbygg BIM Manual 1.2.1 [18].
4. Deliberação das bases de dados *Scopus*, *ScienceDirect* e *Scielo* para a busca devido a compatibilidade destas com a temática.
5. Definição das palavras-chaves para a busca e mapeamento da terminologia em dicionários e glossários.
6. Busca nas bases de dados (tabela 1).
7. Seleção em etapas derivadas do método PRISMA.
 - a) Seleção dos artigos por título e palavras-chave.
 - b) Exclusão dos artigos sem acesso direto ao texto integral pelas bases de dados.
 - c) Seleção dos artigos pelo texto na íntegra.

8. Elaboração de um formulário para a realização da categorização dos textos selecionados. As categorias foram criadas a partir de:

- a) Conjunto de categorias analisadas no artigo *Revisão sistemática de guias BIM internacionais com vista à sua aplicação numa organização* [19].
- b) Análise de categorizações propostas por especialistas BIM em enquete realizada durante o evento A ERA BIM de 2023 [20].
- c) Categorização dos textos selecionados e eventuais ajustes nas categorias.

9. Leitura e categorização dos textos
10. Processamento dos dados do formulário.
11. Resultados do processamento de dados expresso em gráficos e tabelas.
12. Análise e discussão dos resultados.
13. Considerações finais.

3.2. Busca nas bases de dados

Devido às especificidades de cada base de dados foram utilizados para a busca os termos indicados na tabela 1.

Tabela 1: Termos utilizados na busca nas bases de dados

Scopus	ScienceDirect	Scielo
<p><i>ALL(bim OR bimm OR "Building Information Model" OR "Building Information Modelling" OR "Building Information Management Model") AND (project OR plan OR scheme OR design OR structure OR conception OR planning OR architecture OR administration OR operation OR coordination OR building OR construction OR development) AND (public OR universal OR common) AND TITLE (bim OR bimm OR "Building Information Model" OR "Building Information Modelling" OR "Building Information Management Model") AND TITLE-ABS-KEY (public OR universal OR common) AND ABS (guide OR procedure OR standards OR guidelines OR regulation OR manual OR guidebook OR commission) AND PUBYEAR>2017 AND PUBYEAR<2024 AND (LIMIT-TO(SRCTYPE,"j")) AND(LIMIT-TO(PUBSTAGE,"final")) AND(LIMIT-TO(SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,"BUSI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,"MULT")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE,"English"))</i></p>	<p><i>ALL(project OR plan OR design OR planning OR architecture OR coordination OR building OR construction) AND TITLE (bim OR bimm OR "Building Information Model" OR "Building Information Modelling" OR "Building Information Management Model") AND TITLE-ABS-KEY (public OR universal OR common) AND (guide OR procedure OR standards OR guidelines OR regulation OR manual) AND PUBYEAR>2017 AND PUBYEAR<2024 AND (LIMIT-TO(SRCTYPE,"j")) AND (LIMIT-TO(PUBSTAGE,"final")) AND (LIMIT-TO(SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,"BUSI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,"MULT")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re")) AND (LIMIT-TO(LANGUAGE,"English"))</i></p>	<p><i>ti:(bim OR bimm OR "Building Information Model" OR "Building Information Modelling" OR "Building Information Management Model") and subject: (public OR universal OR common) and (guide OR procedure OR standards OR guidelines OR regulation OR manual OR guidebook OR commission) and (bim OR bimm OR "Building Information Model" OR "Building Information Modelling" OR "Building Information Management Model") and (project OR plan OR scheme OR design OR structure OR conception OR planning OR architecture OR administration OR operation OR coordination OR building OR construction OR development) and (public OR universal OR common) and publication_year: 2018-2023</i></p>

3.3. Seleção dos textos

Foi adotado para a seleção o critério de enquadramento com a temática. Sendo aceitos artigos que abordam em partes do texto o assunto guias de contratações em BIM para gestão pública e que não possuem este como a temática principal ou exclusiva.

A seleção foi realizada em etapas derivadas do método PRISMA. Inicialmente, a busca resultou em 316 artigos que após a seleção pelo título e palavras-chave foram reduzidos para 242 artigos. Na sequência foi tentado o acesso aos artigos selecionados, porém apenas 120 desses permitiam o acesso na íntegra. A partir dos artigos com acesso foi feita a seleção pela leitura dos resumos, resultando em uma amostra de 67 artigos. Por fim, foi realizada a seleção pelo texto na íntegra que resultou na amostragem de 38 artigos para a revisão.

3.4. Formulário

Foram definidos tópicos de categorização para a análise dos artigos. Esses tópicos são: aspectos licitatórios; aspectos contratuais; requisitos tecnológicos; classificação da informação; gestão da informação; colaboração; elaboração de modelos; requisitos de validação de modelos; representação gráfica; entrega da informação; programação aplicada a BIM; aspectos legais. Na tabela 2 seguem os tópicos e exemplos de assuntos relacionados a cada um.

Tabela 2: Categorização de tópicos

Tópicos	Exemplos
Aspectos licitatórios	Qualificação técnico-operacional (habilitação) Qualificação técnico-profissional (habilitação) Capacitação e experiência da licitante (pontuação) Qualificação da equipe técnica (pontuação) Desempenho da licitante em contratações anteriores (pontuação)
Aspectos Contratuais	Glossário Funções BIM e Responsabilidades Usos BIM Entregáveis Lox formatos de arquivos Orientações para PEB Cronograma de entrega KPIs Formas de pagamento Pacotes de entrega
Requisitos tecnológicos	Requisitos de software Requisitos de hardware Requisitos de rede
Classificação da informação	IFC Sistemas de Classificação (15965, SINAPI, SICRO, OmniClass, UniClass)
Gestão da informação	CDE 19650 Estrutura de pastas Nomenclatura de arquivos

Colaboração	Procedimentos de Colaboração BCF Interoperabilidade
Elaboração de modelos	Procedimentos de modelagem Objetos BIM Templates para softwares de modelagem
Requisitos de validação de modelos	Controle de qualidade Georreferenciamento IDS Detecção de conflitos
Representação gráfica	Estilos de apresentação de modelos Estilos de apresentação de desenhos
Entrega da informação	COBie
Programação aplicada a BIM	Linguagens de programação (Python, C++, C#) Aplicações de IA (Chat GPT, Leonardo, Stable Diffusion)
Aspectos legais	Atribuição profissional Direitos autorais Proteção a dados pessoais Segurança da informação

4. Resultados e discussão

O resultado da categorização dos 38 artigos selecionados que abordam a temática é apresentado no gráfico 1.

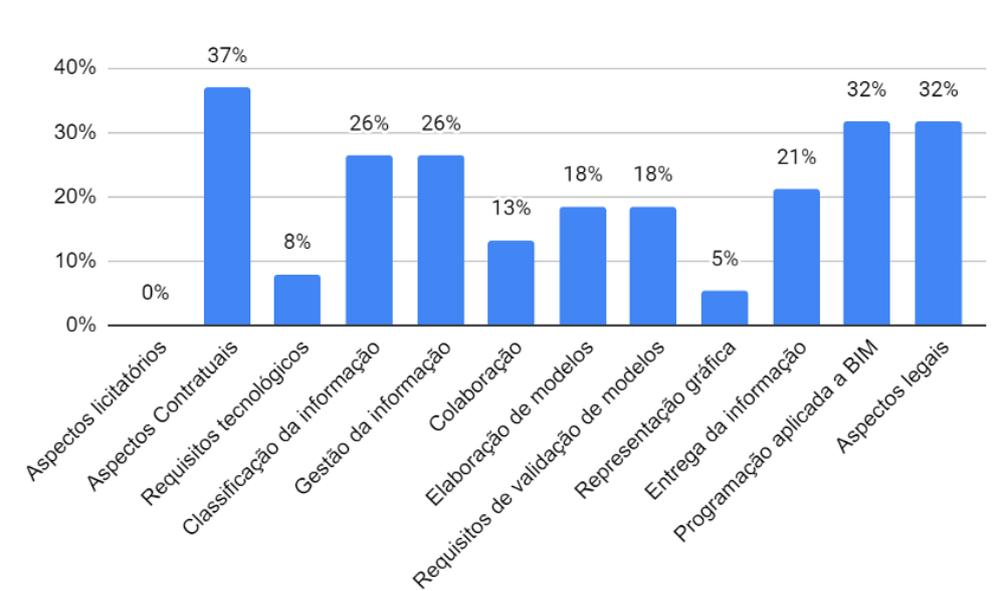
Conforme o gráfico 1, cinco tópicos estão presentes em pelo menos $\frac{1}{4}$ dos artigos. Sendo que os aspectos contratuais foram os mais presentes, aparecendo em 14 artigos, o que representa 37% do total. Seguido de programação aplicada a BIM e aspectos legais, que apareceram em 12 artigos cada, representando 32% do total. Classificação e gestão da informação também ficaram entre os tópicos mais presentes, aparecendo em 10 artigos cada ou 26% do total.

De acordo com o gráfico 1, os tópicos que aparecem em cerca de $\frac{1}{5}$ dos artigos foram: entrega da informação, que está presente em 8 artigos ou 21% do total; elaboração de modelos e requisitos de validação de modelos, estão presentes em 7 artigos cada, representando 18% do total. Na sequência, os tópicos menos presentes foram: Colaboração, que aparece em 5 artigos ou 13% do total; Requisitos tecnológicos, que aparece em 3 artigos ou 8% do total; Representação gráfica, que aparece em apenas 2 artigos ou 5% do total. Por fim, o tópico de Aspectos licitatórios se mostrou ausente nos artigos.

Durante o processo de busca, seleção e análise foi possível notar a baixa quantidade de artigos que tratam como assunto principal os guias de contratação em BIM. O que demonstra uma lacuna de pesquisas a respeito e, portanto, uma provável deficiência em análises, avaliações e críticas dos guias existentes.

Gráfico 1

Porcentagem da presença dos tópicos nos artigos.



5. Considerações finais

Esta revisão demonstrou que nos artigos analisados há uma predominância dos aspectos Contratuais e Legais, entre 37% e 32% e um percentual significativo que trata de Programação Aplicada ao BIM, ao mesmo tempo em que são relevantes os aspectos ligados à Classificação e Gestão da Informação, com 26%, sugerindo uma conexão entre estes tópicos.

Por outro lado, chama a atenção que apenas cerca de 18% dos artigos analisados tratam da Elaboração e Validação dos modelos e somente 13% abordem a questão da Colaboração, indicando uma subutilização do BIM em relação ao seu potencial de simulação de desempenho e assertividade na fase de estudo de viabilidade dos empreendimentos, bem como em relação à mudança do processo de desenvolvimento dos projetos em direção ao incremento da colaboração entre os atores.

E este é um ponto essencial em relação ao uso do BIM, já que se trata de um processo disruptivo, que necessariamente implica em mudanças profundas no método de desenvolvimento dos projetos, deixando de lado a tradicional representação geométrica dos objetos, em função de uma “construção virtual”, que se constitui no modelo tridimensional, por meio de um trabalho colaborativo.

Pelo que foi revelado pelos dados até aqui obtidos, a percepção dessa mudança de paradigma ainda não está clara, ou pelo menos ainda não é tão considerada quanto os aspectos legais e contratuais, que naturalmente compõem os processos de contratação de projetos.

E, no entanto, é justamente este diferencial que torna estes processos de contratação mais complexos, exigindo capacitação e referências claras e objetivas para todos os respectivos atores.

Resta saber, agora, se estas tendências indicadas pelos artigos repetem-se nas licitações e nos Guias e Manuais já existentes e que serão devidamente analisados nos próximos passos da pesquisa.

Agradecimentos

Este artigo foi desenvolvido como parte de uma pesquisa maior para a elaboração de um guia de contratações em BIM para o setor público financiado pelo Fundo Mackpesquisa do Instituto Presbiteriano Mackenzie e 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 de Estruturas (ISISE) sob referência UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), e sob o Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE sob a referência LA/P/0112/2020.

Referências

- [1] Brasil, *DECRETO Nº 9.377, DE 17 DE MAIO DE 2018. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling*. 2018. Acesso em: 25 de dezembro de 2023. [Online]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9377.htm
- [2] H. Cambiaghi e R. Amá, *Manual de escopo de projetos e serviços de Arquitetura e Urbanismo*, 3.ª ed, vol. 3, 15 vols. São Paulo: SECOVI, 2016. Acesso em: 25 de dezembro de 2023. [Online]. Disponível em: <http://www.manuaisdeescopo.com.br/manual/arquitetura-e-urbanismo/>
- [3] ABNT, “ABNT NBR ISO 12006-2:2018. Construção de edificação - Organização de informação da construção. Parte 2: Estrutura para classificação.” ABNT, Brasil, 27 de fevereiro de 2018.
- [4] ABNT, “ABNT NBR 15965-1:2011. Sistema de classificação da informação da construção. Parte 1: Terminologia e estrutura.” ABNT, Brasil, 14 de agosto de 2011.
- [5] CEE-134, “Lista de Normas Brasileiras (NBRs) e Práticas Recomendadas (PRs) em vigor, em desenvolvimento e em projeto”, Informes da ABNT CEE-134 Modelagem da Informação da Construção. Acesso em: 25 de dezembro de 2023. [Online]. Disponível em: <https://sites.google.com/view/abntcee134/home?authuser=2#h.nm44c0dy29ag>
- [6] W. Si. Catelani, “10 motivos para evoluir com o BIM”. CBIC, 2016.
- [7] AsBEA, *Guia AsBEA Boas Práticas em BIM*, vol. 1, 2 vols. São Paulo, 2013. Acesso em: 25 de dezembro de 2013. [Online]. Disponível em: <https://www.asbea.org.br/wp-content/uploads/2022/07/BIM1.pdf>

- [8] Brasil, “DECRETO Nº 10.306, DE 2 DE ABRIL DE 2020. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia...”, Governo do Brasil, Brasília, 2020.
- [9] SEHAB, *Caderno de modelagem BIM: projetos de HIS*, 1.^a ed. São Paulo: KPMO Cultura e Arte, 2021.
- [10] Brasil, *LEI Nº 14.133, DE 1º DE ABRIL DE 2021. Lei de Licitações e Contratos Administrativos*. 2021. Acesso em: 13 de dezembro de 2021. [Online]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm
- [11] G. do E. Paraná, *Decreto Nº 10086 DE 17/01/2022. Regulamenta, no âmbito da Administração Pública estadual, direta, autárquica e fundacional do Estado do Paraná, a Lei nº 14.133...* 2022. Acesso em: 25 de dezembro de 2023. [Online]. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=259084&indice=1&totalRegistros=3&dt=10.7.2022.13.46.37.51>
- [12] Secretaria de Aviação Civil, *Manual de projetos aeroportuários*. Brasília, DF, 2021. Acesso em: 25 de dezembro de 2023. [Online]. Disponível em: https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aereo/minframanual_aeroportuariosac_final.pdf
- [13] OKOLI, Chitu. Guia para realizar uma revisão sistemática da literatura. Tradução de David Wesley Amado Duarte; Revisão técnica e introdução de João Mattar. *EaD em Foco*, 2019; 9 (1): e748. DOI: <https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.748>
- [14] HIGGINS, J.P.T. *et al. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2 ed. Chichester (UK): John Wiley & Sons, 2019.
- [15] BROCKE, J.V. *et al. Reconstructing The Giant: On The Importance Of Rigour In Documenting The Literature Search Process*. In: ECIS, 2009. **Proceedings of** [...]. Paper 161. Disponível em: https://aisel.laisnet.org/ecis2009/161/?utm_source=aisel.laisnet.org%2Fecis2009%2F161&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages. Acesso em: 30 nov 2020.
- [16] COOPER, H.M. Organizing Knowledge Syntheses: A Taxonomy of Literature Reviews. *Knowledge in Society*, Spring 1988, 1 mar. 1988. Disponível em: https://cursa.ihmc.us/rid=1TC56X05G-CJ5PQZ-RK/Cooper_1988_Organizing%20knowledge%20syntheses.pdf. Acesso em: 30 nov. 2020.
- [17] COHAPAR. *Especificações Técnicas para Contratação de Projetos em BIM*. Paraná, 2021.
- [18] Statsbygg. *Statsbygg Building Information Modelling Manual*. Version 1.2.1 (SBM1.2.1). Oslo, Norway, 17 dez 2013. Disponível em: www.statsbygg.no/bim.

- [19] S. A. Mirniazmandan, J. C. Lino, e M. Azenha, “Revisão sistemática de guias BIM internacionais com vista à sua aplicação numa organização”, em *4.º congresso português de ‘Building Information Modelling’ vol. 2 – ptBIM*, UMinho Editora, 2022, p. 10. doi: 4.º congresso português de ‘Building Information Modelling’ vol. 2 – ptBIM.
- [20] A ERA BIM, 6.ª edição, 2023, São Paulo. Seminário Internacional A ERA BIM. São Paulo: SINAENCO, 2023.

Parte VIII – Casos de Estudo

Obra: Colaboração e desafios na reabilitação do Centro de Arte Moderna – Fundação Calouste Gulbenkian

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.41>

Ricardo Santos¹, Pedro Ferreirinha¹

¹ HCI – Construções, S.A., Lisboa

Resumo

A utilização da metodologia BIM na reabilitação do Centro de Arte Moderna da Fundação Calouste Gulbenkian, desenvolvida em obra, representou um desafio na gestão e execução. Este artigo irá destacar os principais desenvolvimentos BIM: colaboração, modelação e acompanhamento.

Um dos temas a referir foi a utilização de uma plataforma colaborativa, permitindo que todos os intervenientes, Dono de Obra, Projetistas, Subempreiteiros e Fornecedores de vários países (Portugal, Japão, Líbano, Itália), trabalhassem em conjunto de forma eficaz, garantindo uma comunicação fluída e um acesso fácil aos dados atualizados em tempo real. Isso otimizou o fluxo de trabalho, melhorando a tomada de decisões e reduzindo o risco de erros.

Foi também explorada a aplicação de utilização de dispositivos móveis como uma ferramenta para o acompanhamento da obra, permitindo as verificações detalhadas e comparações entre o que estava a ser executado no local e o que estava preparado pela equipa BIM HCI. A utilização neste formato tornou as reuniões com o Dono de Obra e os projetistas ainda mais eficazes.

O principal desafio foi a complexidade do desenvolvimento BIM da Central Térmica, que foi a parte crítica do projeto devido à falta de espaço e às exigências técnicas das várias especialidades envolvidas. A interação intensiva entre os intervenientes foi fundamental para encontrar as melhores soluções para essa área crítica, destacando-se o BIM como ferramenta para a resolução de problemas complexos. Este caso de estudo demonstra como o uso estratégico da metodologia BIM e a colaboração eficaz podem superar desafios significativos em projetos de construção.

1. Introdução

O desenvolvimento da obra de Ampliação do Vértice Sul do Centro de Arte Moderna José de Azevedo Perdigão da Fundação Calouste Gulbenkian em Lisboa deparou-se com um enorme desafio no que diz respeito à remodelação de um edifício já por si de extrema complexidade, tanto a nível arquitetónico como de todo o conjunto de especialidades que servem o edifício. Na análise efetuada ao conjunto de projetos para esta obra destacaram-se aqueles que seriam os pontos críticos, dado o volume de equipamentos e sistemas a instalar. No caso concreto desse ponto, surgem os sistemas para o tratamento de ar, que se sabe o quão exigentes e complexos podem ser para atenderem aos requisitos de edifícios desta tipologia. Assim, a perceção espacial dos projetos através do “método tradicional”, ou seja, através da leitura da documentação de projeto que inclui peças desenhadas bidimensionais com os tradicionais traçados unifilares e esquemas de princípio, onde nem sempre se tem em consideração as dimensões reais de muitos dos equipamentos, poderia pôr em causa a evolução dos trabalhos normais de instalação de todas as infraestruturas.

O BIM surge, já no decorrer da fase de obra, com ênfase no desenvolvimento da Central Térmica, “coração” do tratamento de ar que conta com uma área de cerca de 850m² para “alimentar” um edifício com cerca de 72000m² de ABC, permitindo impulsionar os trabalhos previstos para aquela zona. Salienta-se ainda o envolvimento de todas as partes integrantes na edificação da obra, destacando-se a extrema importância na proximidade quer na colaboração quer no acompanhamento dos trabalhos em que a comunicação foi a chave para dar resposta às soluções adotadas para a realidade desta obra. Por outro lado, o desenvolvimento de modelos virtuais partilhados numa plataforma colaborativa permitiu beneficiar a 100% da metodologia BIM. Foi fundamental, também, a utilização de novas ferramentas como o uso de dispositivos móveis com acesso à plataforma colaborativa, em obra, introduzindo assim uma grande dinamização no acompanhamento dos trabalhos e nas reuniões “in-situ”, que permitiram não só desbloquear algumas situações complexas como também otimizar as soluções projetadas para aquele espaço.

2. Estado da Arte

A adoção da metodologia BIM no setor AEC tem-se destacado como uma abordagem eficaz na melhoria dos processos colaborativos entre os intervenientes de um dado projeto. Na área das obras de remodelação e requalificação essa adoção mostra-se ainda mais útil dada a complexidade que os edifícios podem apresentar.

Tirar partido dessa vantagem permite integrar toda a informação proveniente de todas as especialidades envolvidas, como a arquitetura, estrutura, instalações mecânicas, hidráulicas e elétricas, assim como agregar a informação proveniente de fornecedores e subempreiteiros, complementando assim os modelos. Possibilita a visualização tridimensional do projeto, o que facilita na análise e compreensão do todo, garantindo assim uma coordenação e colaboração eficaz, reduzindo erros e

retrabalhos. Para além disso, proporciona uma melhor gestão no planeamento dos trabalhos e equipas nas diversas frentes de obra.

Apesar de todos os benefícios verificados na utilização da metodologia BIM e na evolução da adoção dos processos colaborativos que esta metodologia proporciona, ainda se enfrentam grandes desafios para que todos os intervenientes adiram a este método de trabalho. Embora diversas empresas já o coloquem em prática, avançando e aperfeiçoando os processos inerentes a esta metodologia, difundindo o seu uso e os seus benefícios, verifica-se ainda alguma resistência na integração por parte de alguns profissionais, talvez devido aos custos associados à implementação e capacitação, tanto tecnológica como humana, não permitindo assim o uso na íntegra de uma abordagem que beneficia todas as partes.

3. Metodologia adotada

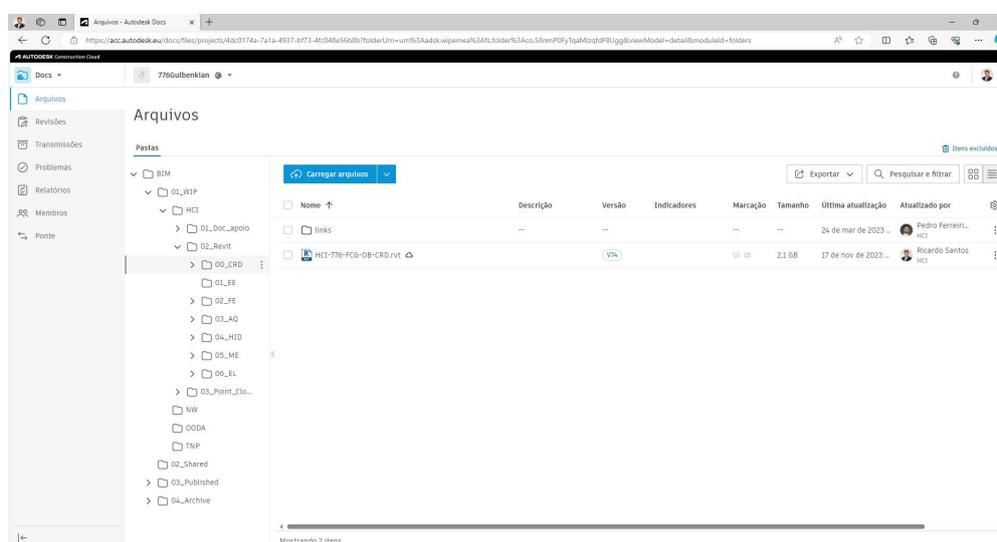
No contexto da Ampliação do Vértice Sul do Centro de Arte Moderna José de Azevedo Perdigão da Fundação Calouste Gulbenkian em Lisboa, edifício repartido por três pisos, com intuito de ajudar a identificar rapidamente os pontos críticos das soluções de projeto, validá-las e agilizar o processo de instalação das infraestruturas e já no decorrer da obra, verificou-se a necessidade de adotar processos que pudessem otimizar os projetos delineados para este edifício, que não afetassem o planeamento existente e que não incrementassem os custos associados à obra. Por outro lado, e sabendo dos benefícios que a metodologia BIM proporciona, o Dono de Obra aproveitou para obter um modelo “as built” para integração futura na fase de operação e manutenção do edifício.

Num primeiro momento, e dada a complexidade da obra, havia a necessidade de um entendimento global no que diz respeito ao projeto em si. Sendo este entregue em formato tradicional havia que “traduzi-lo” para formato BIM e disponibilizá-lo aos intervenientes diretos da obra, Dono de Obra/Fiscalização, projetistas, direção de obra e subempreiteiros. Num segundo momento sentiu-se a necessidade de análise, em conjunto, do que seria a zona, ou zonas, que poderiam afetar o cumprimento dos prazos acordados. Foram envolvidas nesta análise todas as partes integrantes do projeto, que através de reuniões, apresentações dos modelos BIM e mesmo simulações “in loco” constataram-se, uma vez mais, a extrema complexidade da obra marcando, consequentemente os pontos que seriam de resolução urgente. De notar que sendo uma obra onde participaram equipas internacionais e que nem sempre foi possível estarem presentes, o incremento na forma de debater os assuntos aqui mencionados que esta metodologia proporciona ao ter um modelo virtual da obra já por si era justificado. Por último, seria imprescindível efetuar o acompanhamento dos trabalhos conforme planeado, verificando a sua correta instalação e se necessário apresentar otimizações que melhorassem o projeto. Durante o processo, e como é natural na implementação de novas metodologias, houve a necessidade de ajustar alguns fluxos inicialmente delineados face à heterogeneidade das equipas envolvidas.

Perante os requisitos exigidos pelo Dono de Obra e a uma menor capacitação das equipas envolvidas no projeto para a implementação e uso da metodologia BIM, em fase de obra, a HCI, dotada de quadros experientes nesta área, propôs a modelação integral dos projetos das diversas especialidades ou o complemento de alguns modelos que pudessem existir, adaptando-os à realidade encontrada em obra, e em alguns casos a modelação a partir da preparação elaborada pelos subempreiteiros. Sabendo da complexidade da obra, essa modelação seria com um nível de detalhe alto, de forma a preparar os modelos para a pré-fabricação de elementos constituintes do projeto conseguindo-se assim ter o espaço ocupado por todas as infraestruturas o mais real possível.

A informação foi disponibilizada na plataforma colaborativa Autodesk Construction Cloud à qual os diversos intervenientes tinham acesso adotando as especificações da ISO19650 [1], [2], [3].

Figura 1
Plataforma Autodesk
Construction Cloud.



Nessa plataforma poderiam verificar, analisar e comentar ou, como se verificou em diversos casos, discutir as soluções em reuniões de obra semanais. Tirando partido desta metodologia os subempreiteiros que não tinham infraestrutura tecnológica dedicada, solicitavam documentação que os auxiliava na preparação de obra para a instalação dos seus equipamentos e sistemas. Por outro lado, sempre que possível era solicitado aos subempreiteiros o envio de objetos BIM dos seus fornecedores para que fossem implementados nos modelos BIM verificando e validando assim a ocupação de espaço necessário para os equipamentos.



Figura 2
Vista geral do modelo
BIM federado no
visualizador ACC.

Semanalmente era efetuado também o acompanhamento da evolução dos trabalhos com suporte na realidade virtual, de forma consistente, emitindo relatórios para a Direção de Obra que trataria de encaminhar para os respetivos intervenientes para correção ou verificação de alternativas. Esse acompanhamento, na maioria dos casos, era efetuado conjuntamente com os subempreiteiros de forma a agilizar os processos ou dúvidas que pudessem surgir. No decorrer dos trabalhos era feito o levantamento da informação dos equipamentos instalados em obra e adicionado ao modelo de forma a cumprir com a entrega “as built” ao Dono de Obra.

4. Caso de aplicação

O maior desafio desta obra encontra-se na Central Térmica tendo sido o foco principal para adoção da metodologia BIM. Situada no piso -2, alberga cerca de 90% das Unidades de Climatização do edifício incluindo todos os equipamentos, condutas e tubagens adjacentes a estas Unidades.

Tendo em conta que está localizada num dos pisos inferiores, foi necessário para além da instalação de todo o equipamento, garantir o acesso dos mesmos e espaço funcional para a fase de operação e manutenção. Como a área disponível para a colocação de todos os equipamentos e infraestruturas associadas era reduzida, foi fundamental a colaboração de todos, incluindo o Dono de Obra para a definição de percursos para a fase de operação e manutenção, sendo estes percursos conseguidos através de várias simulações a partir dos modelos BIM. O espaço em si conta com uma área de cerca de 862m² e tem a particularidade de ter três zonas com alturas diferentes. Zonas essas, com áreas de 80m², 370m² e 412m² em que o pé direito livre vai desde os 3.00m a 6.70m. Conta com a instalação de 14 Unidades de tratamento de ar em que a dimensão de uma das maiores unidades é de 9.85x3.20x4.70m, 1 Chiller, 2 depósitos de inércia, 1 depósito para AQS e todas as bombas, coletores, tubagens, condutas e dispositivos de medição e leitura.

Figura 3

Definição dos caminhos para operação e manutenção.

**Figura 4**

Representação das instalações da Central Térmica.

**Figura 5**

Zona de pé direito duplo com todos os equipamentos e traçados previstos.



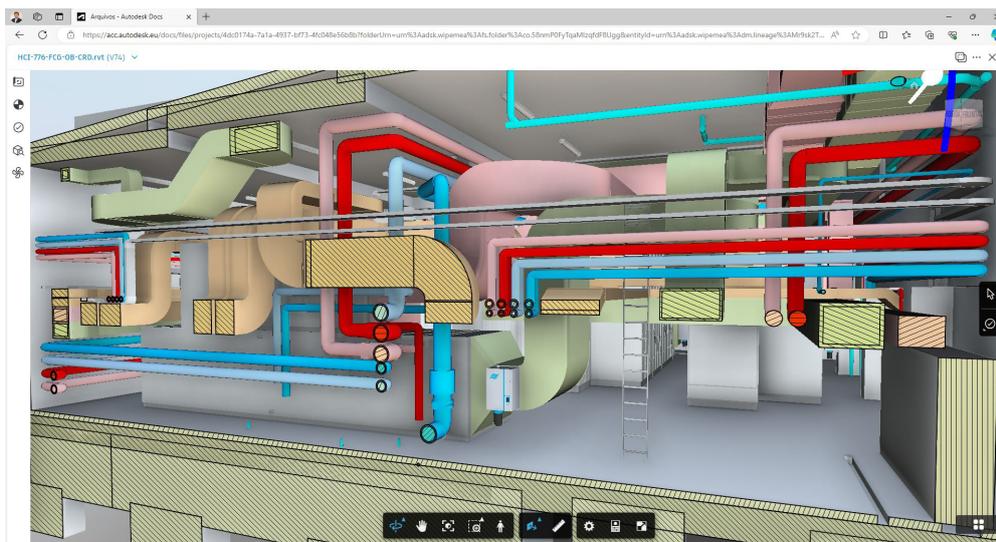


Figura 6
Corte transversal no modelo BIM mostrando a complexidade das instalações.

Foi feito o levantamento das necessidades a partir dos projetos das diversas especialidades juntamente com os instaladores de forma a resolver logo inicialmente algumas incompatibilidades encontradas, tendo sido logo à partida relocalizadas as Unidades de Climatização, o que serviu assim como ponto de partida para a modelação, coordenação e compatibilização das diversas especialidades.

O processo colaborativo nos modelos iniciou-se pela interação entre os diversos intervenientes que através dos seus contributos, em cada área de atuação, quer na leitura dos projetos, como na providencia de objetos BIM fornecidos pelos seus parceiros, foram disponibilizando informação suficiente para a construção dos modelos BIM na plataforma Autodesk Construction Cloud. Como exemplo disso, foram fornecidos pelos subempreiteiros do reforço estrutural todos os elementos de estrutura metálica, tendo sido modelados em software diferente do utilizado nos restantes modelos. A modelação de peças cerâmicas específicas para a cobertura do Engawa, elemento arquitetónico icónico idealizado pelo gabinete de arquitetura, foi fornecido também por um subempreiteiro, bem como outros equipamentos modelados à medida conforme os requisitos do projeto.

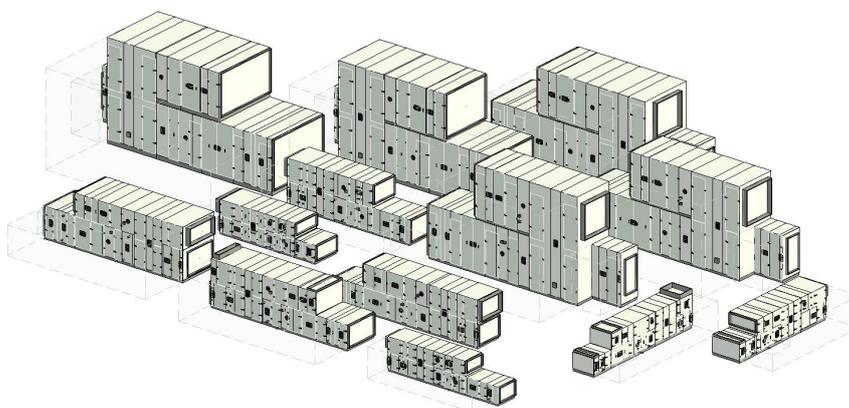
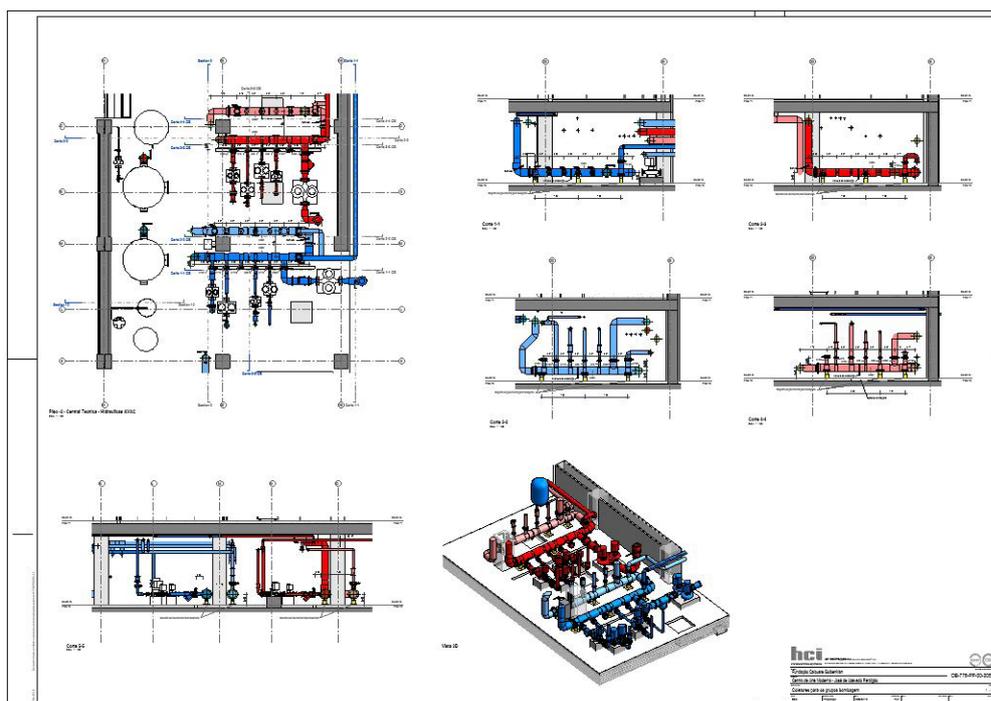


Figura 7
Objetos BIM fornecidos pelo fornecedor criados especificamente para este caso.

Com o desenvolvimento dos trabalhos nos modelos BIM tentou-se tirar partido das ferramentas que a plataforma proporciona, concretamente pela utilização das “Issues” para reportar e resolver situações de incompatibilidade para a obra. No entanto, verificou-se que alguns dos instaladores não estavam tão recetivos a esta nova metodologia pelo que se ajustou o procedimento inicialmente idealizado e se assumiu uma presença e colaboração mais próxima destes de forma a resolver tais incompatibilidades.

Figura 8
Documentação para
fabricação e
implantação de
equipamento e traçados.



O acompanhamento da obra foi efetuado semanalmente através da verificação “in situ” do estado dos trabalhos em comparação com o modelo BIM aprovado pelo Dono de Obra. Para essa verificação foram utilizadas ferramentas de auxílio para uma análise mais correta da evolução da obra. Utilizou-se a própria plataforma Autodesk Construction Cloud através de dispositivos móveis que permitiu efetuar análises diretas entre o real e o modelo BIM juntamente com os instaladores e seus subempreiteiros, interação que se verificou uma mais-valia na correção e otimização de soluções. Por outro lado, para uma obra desta complexidade e como os modelos estavam alimentados por informação disponibilizada pelos diversos intervenientes, verificou-se a facilidade de aceder instantaneamente a essa informação percebendo a que tipo, sistema ou localização pertencia um dado elemento instalado em obra.

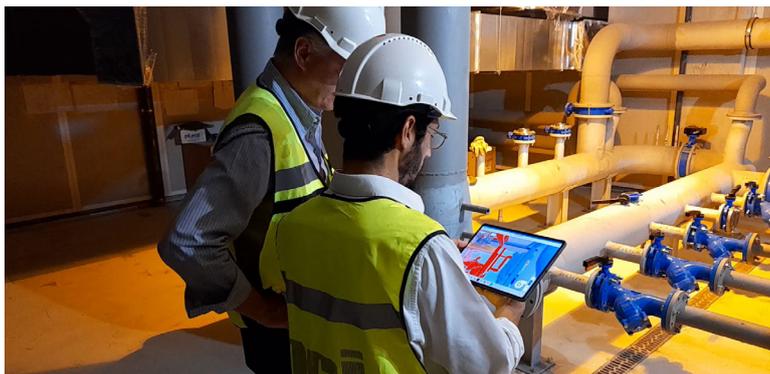


Figura 9
Acompanhamento de obra com suporte de dispositivo móvel.

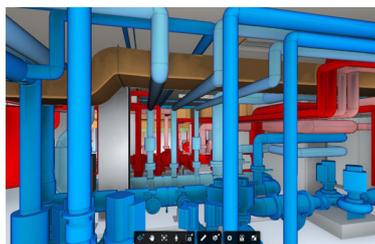


Figura 10
Comparação entre modelos BIM e o executado.

Adicionalmente e através deste acompanhamento, foram ainda recolhidas diretamente dos instaladores, ou através do levantamento nos equipamentos, informações necessárias de forma a manter atualizados os modelos BIM e com o intuito de prepará-los para a fase de operação e manutenção.

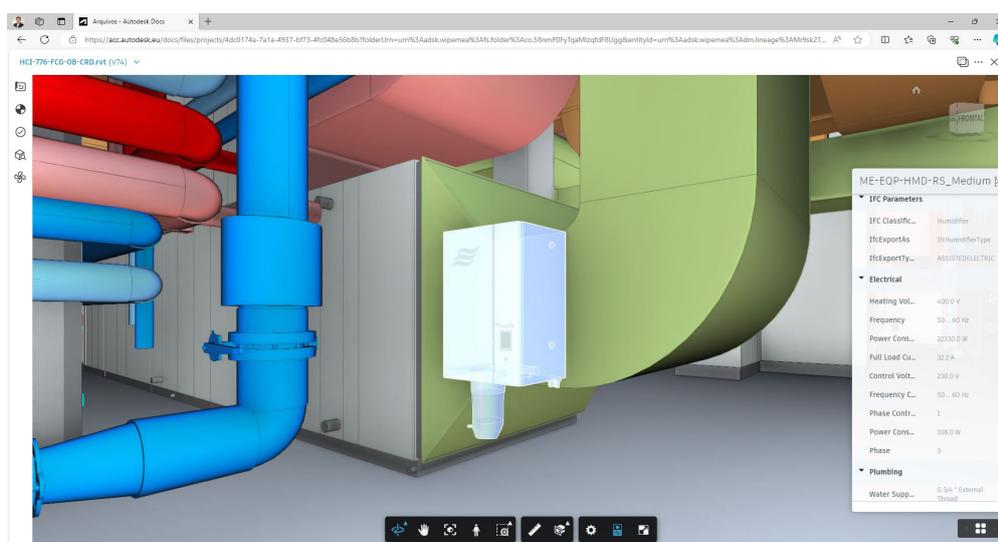


Figura 11
Introdução de dados para a fase Operação e Manutenção.

5. Conclusões

A utilização de processos colaborativos BIM em obras de remodelação manifestou-se extremamente vantajosa para o setor da construção. Esta abordagem permitiu uma melhor gestão do projeto, maior eficiência na comunicação entre as equipas envolvidas, além de evitar retrabalhos e garantir a qualidade final da obra. Por outro lado, a preparação de modelo para a fase seguinte do ciclo de vida do edifício também é fundamental, visto que a informação de todos os equipamentos instalados fica centralizada e de fácil acesso, tanto para o Dono de Obra como para as equipas de manutenção que serão definidas para essa fase. Portanto, é cada vez mais importante para empresas e profissionais da área investir nessa metodologia e acompanhar as tendências do mercado. Também se verifica que a evolução tecnológica para este sector é um aliado fundamental e urge a necessidade continua de busca por soluções que permitam tornar o trabalho mais eficiente.

Referências

- [1] 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.
- [2] 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 assets, 2018.
- [3] 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 3: Operational phase of the assets, 2020.

Abordagem *BIM* ao projeto linha circular do Metro de Lisboa – Lote 2: Escavação *Cut&Cover* e obras especiais

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.42>

Carlos de Oliveira Martins¹, Joana Silva¹,
Pedro Marques¹, André Henriques¹, Rui Tomásio¹

¹ *JETsj Geotecnia, Lisboa, ID: 1090*

Resumo

O Lote 2 do Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa (ML) tem início na Estação Santos e apresenta um traçado que se desenvolve para sul, atravessando a Av. D. Carlos I, Rua da Esperança, Calçada do Marques de Abrantes, Rua D. Luís I e Av. 24 de Julho, até à Estação Cais do Sodré, onde termina. Permite assim ligar a atual Linha Amarela à Linha Verde, materializando, em conjunto com as Empreitada dos Lotes 1, 3 e 4, a nova Linha Circular do ML.

O presente artigo introduz a utilização e o procedimento de aplicação da metodologia *BIM* a várias obras constituintes deste novo traçado, necessárias para materialização da Linha Circular. Entre estas, destacam-se as diversas trincheiras *Cut&Cover*, a estrutura definitiva do túnel e ainda o reforço e reçalçamento de edifícios sensíveis na zona envolvente à escavação. As soluções desenvolvidas tiveram por base os diversos condicionamentos locais, característicos de uma zona fortemente urbanizada, especialmente, a existência próxima de edifícios, de diversas infraestruturas no subsolo, para além de todas as vias de comunicação que o traçado atravessa, incluindo arruamentos, faixas rodoviárias e linhas de elétrico e ferroviárias.

Neste enquadramento, foram desenvolvidos vários modelos geométricos em REVIT, os quais permitiram uma melhor visualização e interpretação do planeamento das fases de construção entre obras, e em cada uma destas, bem como maximizar a compatibilização entre as diversas estruturas e infraestruturas pré-existentes. Destacam-se ainda as vantagens do recurso a esta ferramenta em vários processos relevantes em projetos desta dimensão, como a otimização do processo de estimativa de

quantidades, a possibilidade de trabalho colaborativo e a partilha de informação mais fluida entre as diversas entidades envolvidas.

A experiência neste projeto permitiu-nos concluir que a integração de software especializado num ambiente colaborativo único pode ter diversas vantagens que conduzem preferencialmente a um melhor resultado de projeto e construção.

1. Introdução

O Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa permitirá ligar a atual Linha Amarela (Estação do Rato) à Linha Verde (Estação do Cais do Sodré), materializando, no conjunto das empreitadas dos Lotes 1, 2, 3 e 4, a nova Linha Circular do ML, a qual contará com uma nova estação na Estrela e outra em Santos.



Figura 1
Prolongamento das Linhas Amarela e Verde do Metropolitano de Lisboa.

O presente artigo tem como foco aplicação do *BIM* às obras de escavação *Cut&Cover* no âmbito do Lote 2, o qual tem início na nova Estação Santos e apresenta um traçado que se desenvolve para sul, atravessando a Av. D. Carlos I, Rua da Esperança, Calçada do Marques de Abrantes, Rua D. Luís I e Av. 24 de Julho, até à Estação Cais do Sodré, onde termina.



Figura 2
Obras constituintes do Lote 2 do Projeto da Linha Circular do Metro de Lisboa.

Na Figura 2 apresenta-se o traçado do Túnel do Lote 2, o qual atravessa uma zona fortemente urbanizada e histórica da cidade de Lisboa sendo, em grande parte da sua extensão, construído com recurso à metodologia *Cut&Cover*. Neste enquadramento, as soluções desenvolvidas e o faseamento da obra, o qual se apresenta dividido em quatro trincheiras, tiveram por base os condicionamentos locais, nomeadamente, a existência próxima de edifícios, de diversas infraestruturas no subsolo e de todas as

vias de comunicação que o traçado atravessa, incluindo arruamentos, faixas rodoviárias e linhas de elétrico e ferroviárias.

O desenvolvimento deste projeto com recurso ao *BIM* não foi um requisito imposto pelo dono de obra nem tão pouco pelo cliente (empreiteiro). Contudo, este projeto coincidiu com os primeiros passos da implementação da metodologia *BIM* na atividade da empresa que, embora se encontrasse numa fase embrionária, decidiu arriscar e proceder à sua aplicação, a qual incidiu unicamente na modelação geométrica e faseamento construtivo das estruturas *Cut&Cover*.

2. Descrição das soluções estruturais e geotécnicas

No geral, as soluções propostas consistem na execução de uma estrutura de contenção provisória entivada interiormente a vários níveis por meio de sistemas de escoramentos. Posteriormente, a execução da referida estrutura será compatibilizada com a desativação dos escoramentos e a reposição das cotas atuais será feita à custa de um aterro sobre a laje de cobertura do túnel. Como as condições geológico-geotécnicas mudam ao longo do traçado, são usadas diferentes soluções para a estrutura de contenção.

2.1. Túnel *Cut&Cover* PK 1+484.5 a PK 1+569.2

O tipo de estrutura de contenção adotada neste trecho é materializado por estacas moldadas em betão armado com revestimento em betão projetado e em conjunto com estacas plásticas secantes onde a escavação interseta materiais menos competentes. Na sua generalidade, a cortina é travada interiormente por escoras metálicas de reação e a vigas de distribuição de betão armado e/ou longarinas metálicas, exceto na zona de transição entre a solução de NATM e a escavação a céu aberto, onde serão utilizadas ancoragens provisórias.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Norte, com Túnel NATM, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Atravessamento da Av. Dom Carlos I, o que conduziu à necessidade de compatibilização com os serviços afetados, nomeadamente do Coletor Nova II;
- Interseção, a Sul, com Obra especial 3, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado.

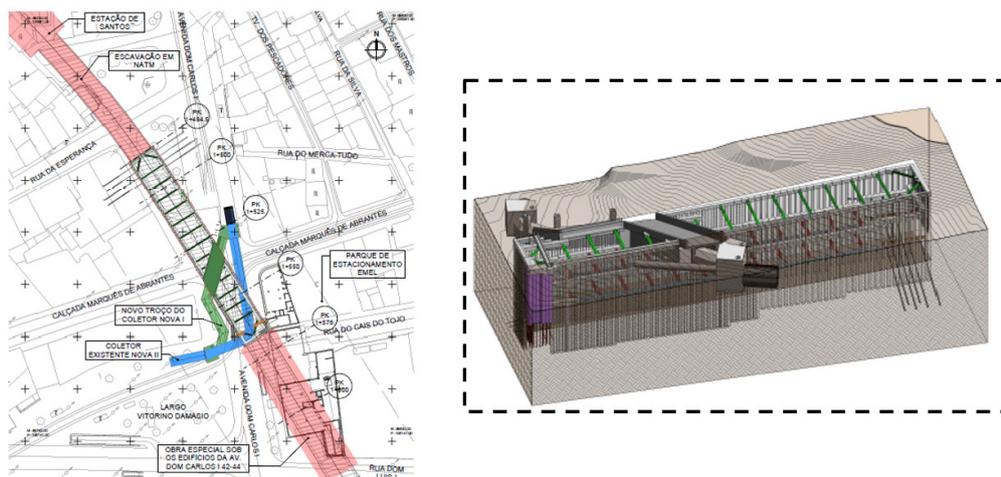


Figura 3
Solução do Túnel
Cut & Cover entre o PK
1+484.5 e o PK 1+569.2.

2.2. Túnel *Cut&Cover* PK 1+569.2 a PK1+627 e Obra especial 3

A solução proposta neste trecho consiste na execução de um sistema de recalçamento dos pilares e muros de encabeçamento de estacas dos edifícios existentes n.º 42 e n.º 44, localizados sobre o túnel, que permita a preservação da funcionalidade da estrutura, em simultâneo com a execução e utilização do futuro túnel. Após materialização do sistema de recalçamento, com recurso a uma laje de recalçamento apoiada lateralmente em duas cortinas de colunas de jet grouting, reforçadas com perfis metálicos, serão realizados os trabalhos de escavação, ao abrigo da mesma cortina de contenção, reforçada com uma terceira fiada de colunas de jet grouting, igualmente armada com perfis metálicos, para execução da estrutura definitiva do túnel.

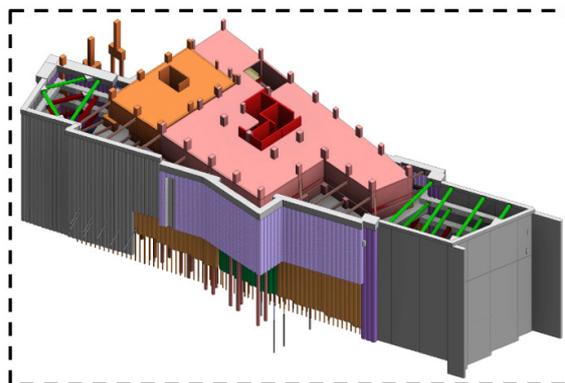
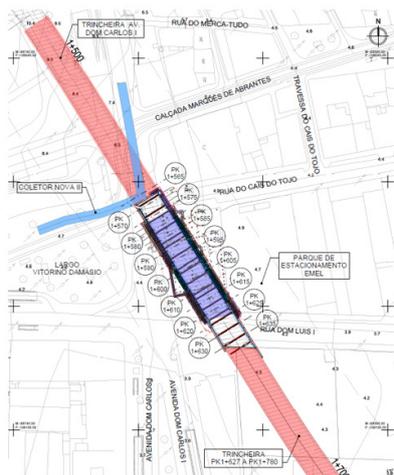
Todos os trabalhos serão executados ao abrigo de cortina tripla de colunas de jet-grouting secantes que irão conter os terrenos e impedir a entrada de água nas zonas a escavar.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Norte e a Sul, com as trincheiras *Cut&Cover*, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Complexidade e variabilidade da solução, nomeadamente no tipo de colunas de *jet-grouting*;
- Compatibilização com o recalçamento dos edifícios n.º 42 e n.º 44 com recurso a laje de betão armado que apoia sobre a cortina de contenção.

Figura 4

Solução do Túnel
Cut&Cover entre o PK
1+569.2 e o PK1+627.



2.3. Túnel *Cut&Cover* PK1+627 a PK 1+725

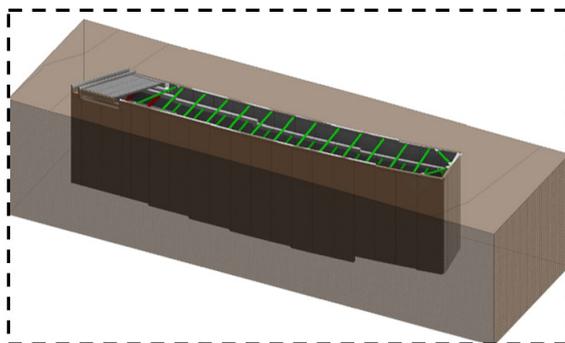
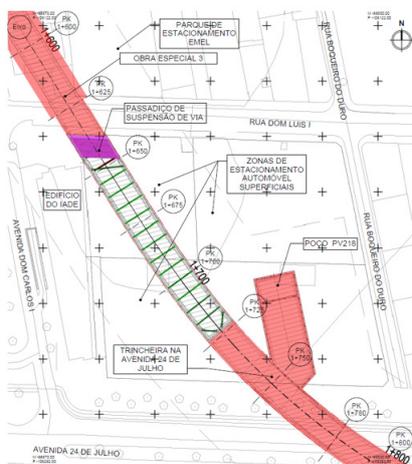
Neste trecho a presença de solos menos competentes e a necessidade de garantir uma melhor estanqueidade motivou a prescrição de uma solução de contenção por painéis de parede moldada. A espessura dos mesmos foi condicionada às formações geológicas atravessadas, sendo que neste trecho se confirmou como adequada a utilização de uma espessura de 600mm.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste trecho:

- Interseção, a Norte, com Obra especial 3, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado.
- Compatibilização da solução e do faseamento para a execução prévia de um poço de prospeção inicial, com o propósito de realizar escavações arqueológicas preliminares;
- Instalação de um viaduto rodoviário suspenso sobre a Trincheira, o que motivou a compatibilização de soluções.

Figura 5

Solução do Túnel
Cut&Cover entre o
PK1+627 e o PK 1+725.



2.4. Túnel *Cut&Cover* PK1+725 A PK 1+900 e Obra especial 7

De forma semelhante ao trecho anterior foi adotada uma solução de contenção por painéis de parede moldada. Contudo, a presença de uma espessura muito elevada de aluviões argilosos de muito fraca consistência motivou o recurso a uma espessura de 800mm.

Resumem-se de seguida os principais desafios identificados neste troço:

- Interseção, a Sul, com Obra especial 7, que conduziu à necessidade de compatibilização das soluções e do faseamento construtivo associado;
- Atravessamento da Av. 24 de Julho, o que conduziu à necessidade de compatibilização com os serviços afetados, dando-se relevância à suspensão de cauleiras e coletores sobre a Trincheira, e à necessidade de realização da mesma em três fases distintas as quais permitiram a circulação parcial do trânsito rodoviário e a circulação sem limitações das linhas de elétrico e ferroviárias durante a obra.

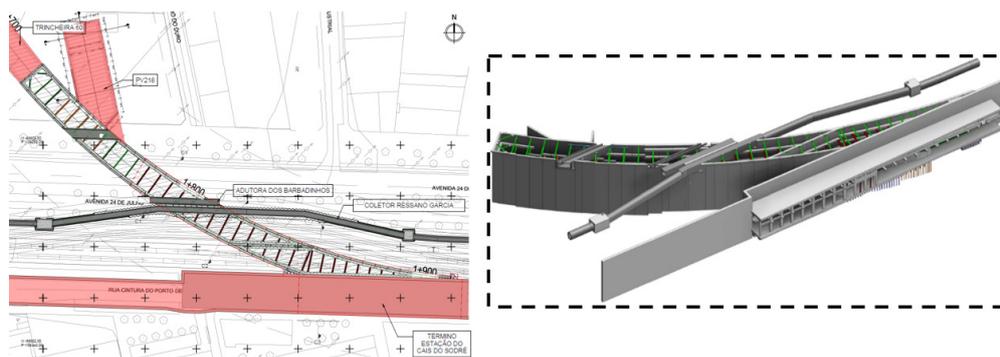


Figura 6
Solução do Túnel
Cut&Cover entre o
PK1+725 e o PK 1+900.

3. Aplicação *BIM* e modelos desenvolvidos

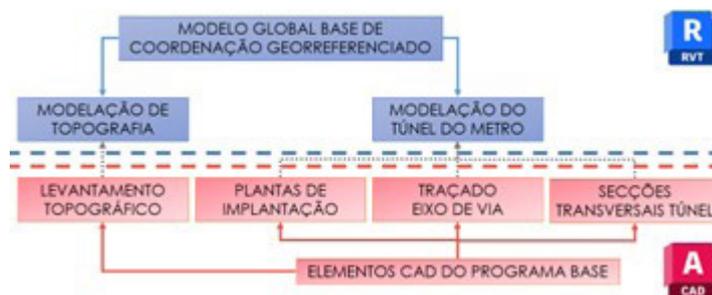
Na secção anterior fez-se uma breve descrição das várias soluções *Cut&Cover*, introduzindo-se os principais desafios associados à complexidade de uma obra como a presente. Pelo exposto, entendeu-se que a adoção de metodologia *BIM*, embora não sendo um requisito do projeto imposto pelo dono de obra, seria uma mais-valia no desenvolvimento do mesmo, seja do ponto de vista do projeto, bem como da gestão e coordenação do mesmo.

3.1. Modelo global base de coordenação

Como ponto de partida foi elaborado um modelo global base de coordenação, o qual teve por princípio a modelação de elementos comuns aos vários modelos a construir posteriormente, bem como servir de base de georreferenciação aos mesmos. Conforme referido, a modelação *BIM* não era um requisito do projeto, pelo que todos os elementos de base fornecidos pelo cliente se encontravam em formato *CAD*.

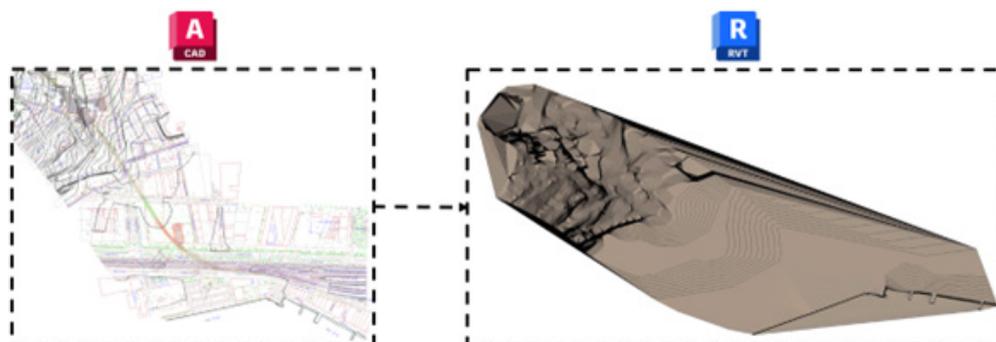
Entendeu-se que a topografia da zona a intervir e o traçado do túnel do metro seriam os elementos principais a constar no modelo global de base, apresentando-se de seguida a metodologia de modelação dos mesmos no *Revit*.

Figura 7
Metodologia de construção do modelo *Revit* global a partir dos elementos *CAD*.



Relativamente às operações de georreferenciação do modelo e à modelação da topografia refere-se que as mesmas tiveram por base a planta do levantamento topográfico georreferenciada disponibilizada em formato *CAD*. Em primeira fase, procedeu-se à georreferenciação do modelo através do vínculo da planta *CAD* no modelo *Revit*, seguida da operação *Acquire Coordinates*. Quanto à topografia, refere-se que foi gerada uma *Toposurface*, a qual teve por base a altimetria presente na planta *CAD*, tendo-se posteriormente realizado uma análise da coerência das curvas geradas e eventual tratamento de pontos díspares.

Figura 8
Modelação topografia no *Revit* a partir da planta de levantamento topográfico *CAD*.



Relativamente à modelação do túnel, o ponto de partida foi a *3D polyline* presente no ficheiro *CAD* de traçado do eixo de via, através do qual se procedeu à extração de um ficheiro texto contendo as coordenadas xyz para cada trecho com secção transversal distinta. De seguida, recorreu-se ao *plugin Dynamo* para converter o ficheiro de pontos numa curva de pontos, materializada por um *Divided Path*, devidamente georreferenciada no modelo *Revit* à qual, posteriormente, se atribuiu a cada ponto a secção transversal respetiva de cada trecho, obtendo-se o desenvolvimento longitudinal do túnel.

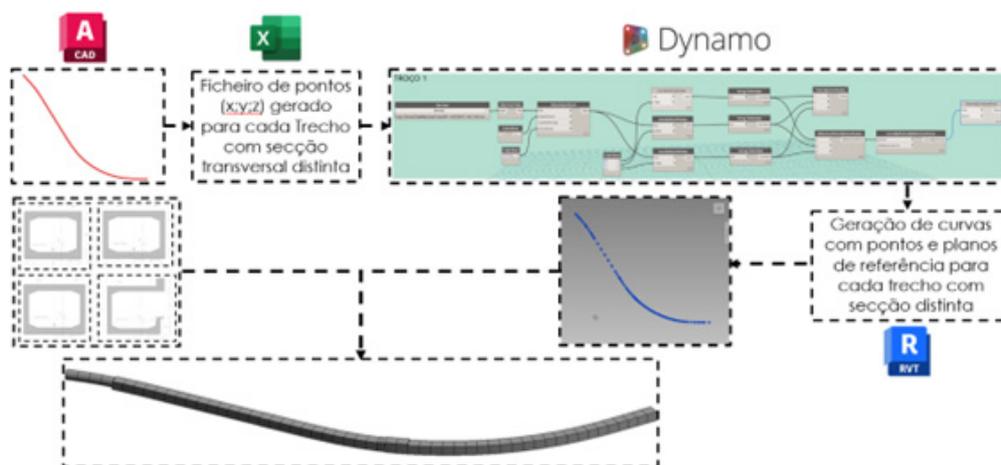


Figura 9
Procedimento de modelação do túnel do metro no *Revit*.

Na Figura 10 apresenta-se uma perspectiva tridimensional do modelo global de base, no qual se vislumbra a modelação da topografia e do túnel definitivo do metro.

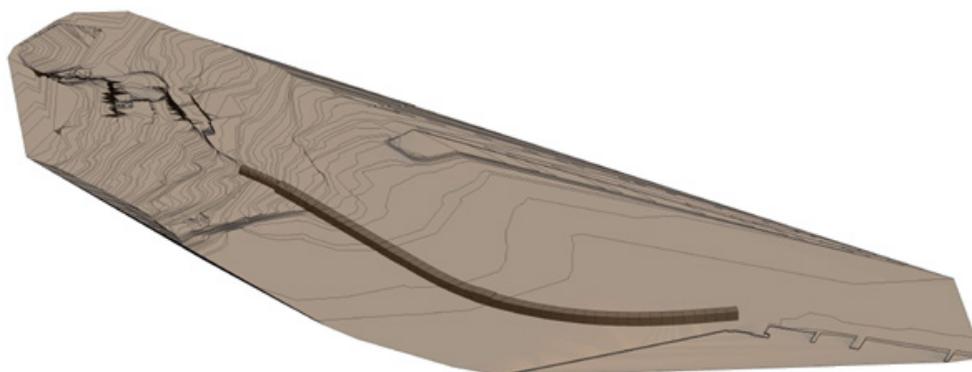


Figura 10
Perspetiva tridimensional do modelo global base de coordenação.

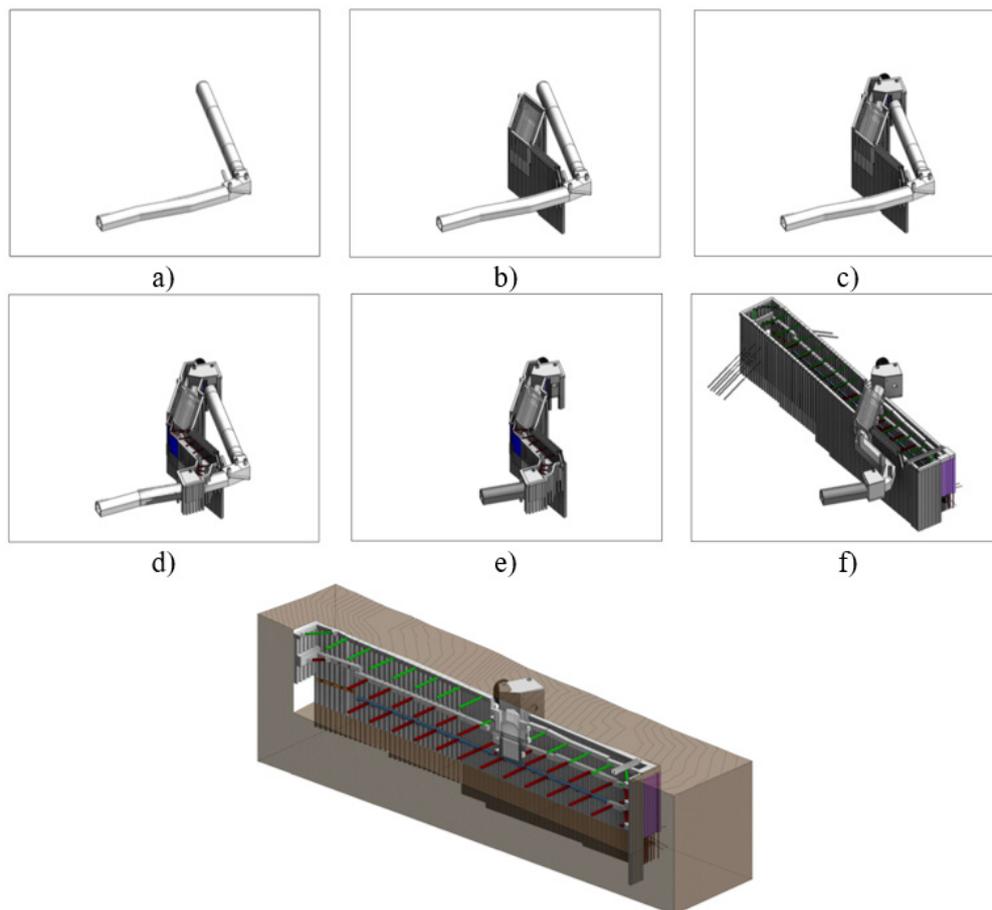
3.2. Túnel *Cut&Cover* PK1+484.5 A PK 1+569.2

Para tornar o projeto mais completo, ajudar a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e extrair de uma forma mais simples as quantidades de materiais dos diversos elementos constituintes da solução, nomeadamente a cofragem, o betão e os volumes de escavação foram criadas as fases construtivas da obra seguintes:

1. Coletor Nova I existente (Figura 11a);
2. Execução da fase 1 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11b);
3. Execução da fase 2 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11c);
4. Execução da fase 3 de desvio do Coletor Nova II (Figura 11d);
5. Desativação do Coletor Nova II existente (Figura 11e);
6. Execução da Túnel *Cut&Cover* com suspensão do Coletor Nova II (Figura 11f);

Figura 11

Fases para a execução do Túnel *Cut&Cover* entre o PK 1+484.5 e o PK 1+569.2.



3.4. Túnel *Cut&Cover* PK1+627 A PK 1+725

De forma semelhante ao referido para o anterior modelo, por forma a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e apoiar na extração de quantidades, foram criadas diversas fases representativas da obra. Assim, foram definidas as seguintes fases:

1. Execução do poço de prospeção arqueológico inicial (Figura 12a)
2. Execução do viaduto rodoviário suspenso sobre o poço de prospeção (Figura 12b)
3. Execução da Túnel *Cut&Cover* devidamente compatibilizado com o poço arqueológico e com o viaduto rodoviário suspenso (Figura 12c)

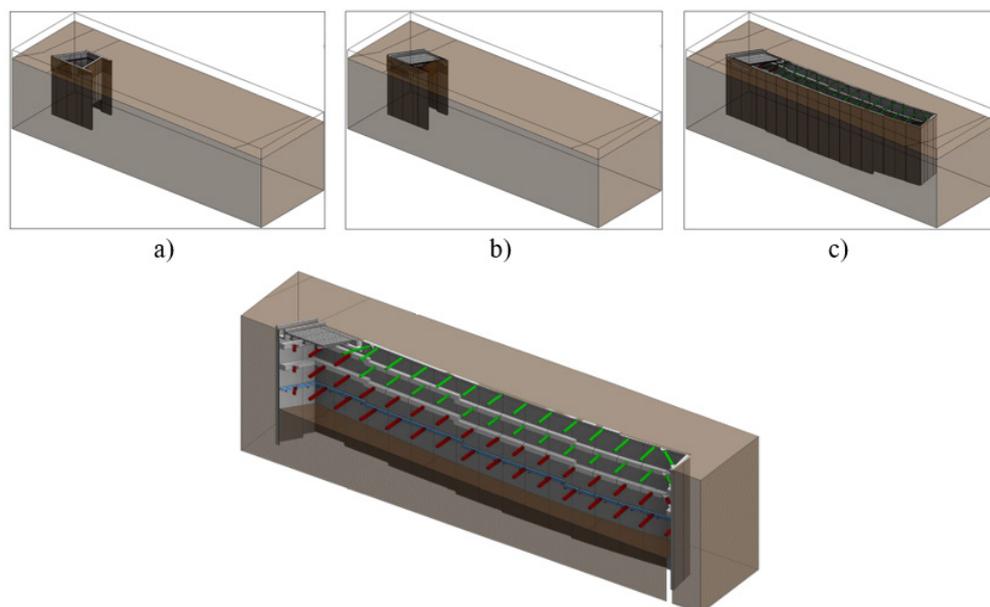


Figura 12
Fases para a execução do Túnel *Cut&Cover* entre o PK1+627 e o PK 1+725.

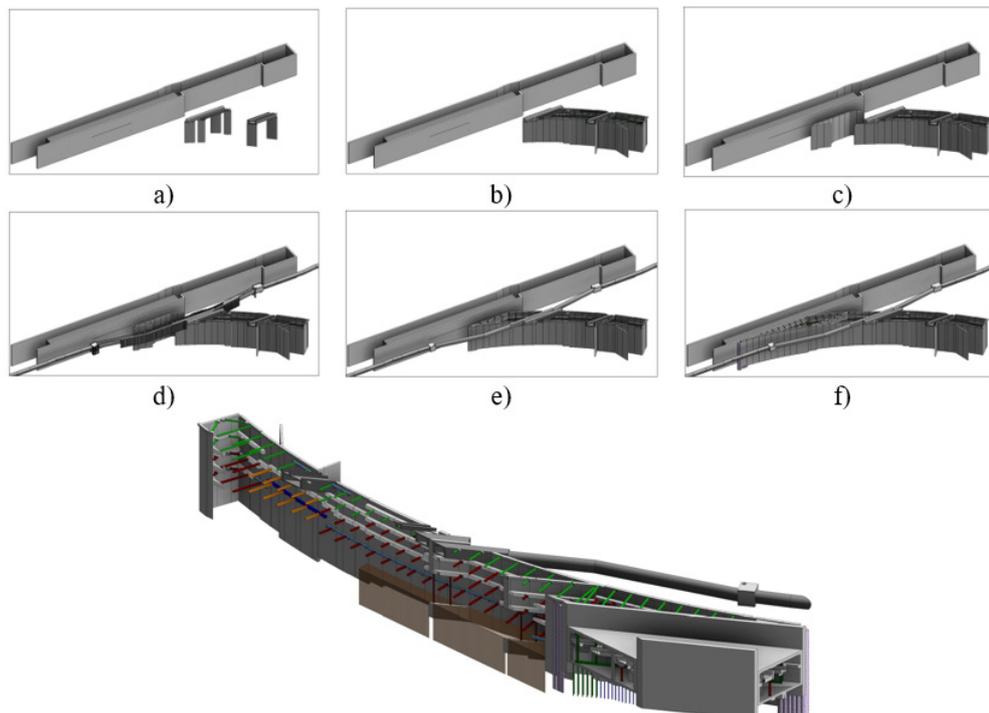
3.5. Túnel *Cut&Cover* PK1+725 A PK 1+900

De forma semelhante ao referido para os anteriores modelos, por forma a ter uma melhor perceção de todos os elementos constituintes do modelo e apoia na extração de quantidades, foram criadas diversas fases representativas da obra. Assim, foram definidas as seguintes fases:

1. Desvio de coletores e caleiras suspensos sobre a Trincheira (Figura 13a);
2. Execução do 1.º troço do Túnel *Cut&Cover* no início da Av. 24 de Julho (Figura 13b);
3. Execução de paredes moldada intermédios a meio da Av.24 de Julho (Figura 13c);
4. Execução de contenções para desvio do coletor Ressano Garcia (Figura 13d);
5. Execução do 2.º troço do Túnel *Cut&Cover* a meio da Av. 24 de Julho (Figura 13e);
6. Execução do 3.º troço do Túnel *Cut&Cover* no fim da Av. 24 de Julho (Figura 13f);

Figura 13

Fases para a execução do Túnel *Cut&Cover* entre o PK1+725 e o PK 1+900.



4. Considerações finais

Conforme se expôs ao longo do presente artigo, entendeu-se que a adoção de metodologia *BIM* ao projeto do Lote 2 da Linha Circular do Metro de Lisboa, embora não sendo um requisito do projeto, seria uma mais-valia no desenvolvimento do mesmo, seja do ponto de vista do projeto, bem como da gestão e coordenação do mesmo.

Do ponto de vista do projeto, os modelos foram elaborados por forma a serem representativos de cada fase da obra, permitindo uma representação mais dinâmica e fluida dos diversos condicionamentos associados à execução da obra, entre eles: as estruturas envolventes existentes a preservar e os diversos serviços afetados. Os modelos permitiram igualmente um procedimento de compatibilização entre as várias soluções e os diversos faseamentos construtivos, bem como a representação das fases de obra correspondentes a cada trincheira. Por fim, com recurso aos modelos elaborados, foi possível proceder à extração de quantidades de materiais de forma mais automatizada.

Por outro lado, do ponto de vista da gestão e coordenação do projeto, a metodologia *BIM* permitiu uma otimização de processos e um aumento da produtividade das equipas, seja no desenvolvimento, no procedimento de revisões e/ou na necessidade de alterações e adaptações das soluções, e ainda na possibilidade da exploração do trabalho colaborativo. Por fim, o recurso a modelos permitiu uma apresentação tridimensional das soluções às entidades envolvidas (ML, revisor, empreiteiro, fiscalização), a qual, por vezes, possibilita a interpretação mais imediata de assuntos, facilitando deste modo o *workflow* entre as diversas equipas.

Apresenta-se, por fim na Figura 14, o culminar de todos os modelos elaborados num único modelo coordenado.

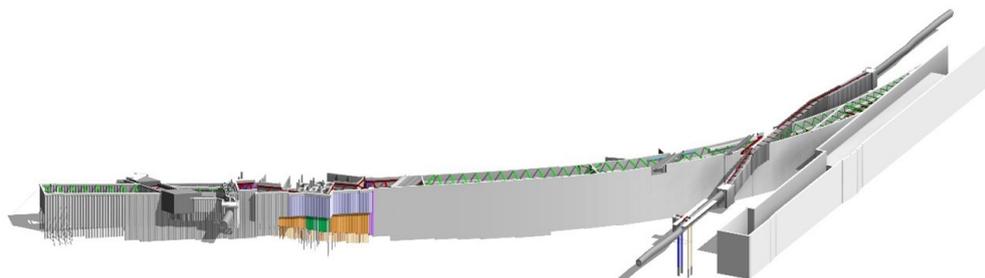


Figura 14
Perspetiva tridimensional do modelo coordenado dos vários trechos *Cut&Cover*.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Metropolitano de Lisboa a autorização para a apresentação deste trabalho.

Lições aprendidas sobre o uso de BIM na fase de construção da extensão da Linha Amarela do Metro do Porto – A perspetiva do empreiteiro

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.43>

Soraia Pereira¹, Manuel Tender²

¹ BIMMS Management, Porto-Portugal

² Digital4OSH / ISLA – Instituto Politécnico de Gestão e Tecnologia,
Escola Superior de Tecnologia / ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto,
Porto-Portugal, ORCID 0000-0002-3494-294X

Resumo

O BIM está a conduzir a uma mudança relevante nas abordagens tradicionais e a ganhar espaço na fase de obra na área de gestão da construção. Vários autores têm apelado a mais estudos de caso para identificar soluções práticas que possam auxiliar as organizações. O estudo de caso diz respeito à fase de construção de um projeto de infraestruturas ferroviária em Portugal – a expansão da Linha Amarela do Metro do Porto. A obra envolveu a construção de via dupla de 3,15km incluindo um viaduto, três estações, um túnel com 770 metros de extensão e o restante em cut & cover, à superfície. Este artigo irá descrever lições aprendidas, do ponto de vista do Empreiteiro, com a utilização do BIM neste projeto. Conclui-se, através das lições aprendidas neste empreendimento, que o uso do BIM permitiu uma gestão, coordenação e colaboração mais ágil entre os setores de projeto, planeamento, preparação e execução de obra, uma otimização de diversas tarefas, redução do risco de construção, ganhos de qualidade e de produtividade por economia de custos e sustentabilidade a longo prazo podendo fornecer assim informações valiosas para a indústria da construção em geral.

1. Introdução

1.1. BIM

Embora as abordagens atuais que utilizam o BIM pareçam estar baseadas em exemplos maioritariamente teóricos, vários estudos mencionam a necessidade de, para melhorar a aplicabilidade prática, otimizar as aproximações tradicionais e via BIM [1], aumentar a sua divulgação no setor [2] e maximizar o foco na interpretação de fraquezas e ameaças [3]. Segundo a literatura, a implementação do BIM enfrenta frequentemente diferentes barreiras, podendo estas dificultar o seu uso em casos práticos: não exigência pelo cliente designadamente por desconhecimento [2]; resistência cultural, relutância e aversão à mudança; falta de conhecimento do Retorno do Investimento designadamente pelo impacto do elevado investimento realizado e aos consequentes níveis reduzidos de produtividade nas fases iniciais de adoção [4].

1.2. Lições aprendidas

Uma lição aprendida, seja um sucesso ou fracasso, deve: ter um impacto real ou presumido nas operações; ser factual e tecnicamente correta; ser aplicável na medida em que identifica uma escolha específica que reduz o potencial de falhas ou ameaças, ou reforça um resultado positivo ou oportunidade. Captar, compilar e interpretar lições aprendidas permite identificar, recolher, e partilhar exemplos baseados em metodologias já validadas; explica as razões do sucesso e dos fracassos para evitar que, aprendendo com erros do passado, erros semelhantes se repitam; promove a aprendizagem mútua e o intercâmbio de melhores práticas. No entanto, as lições aprendidas na construção ainda não são partilhadas de forma estruturada e tais lições geralmente ficam “retidas nos registos dos projetos e na memória dos seus intervenientes, o que dificulta a sua acessibilidade e partilha [5]. Isto ocorre geralmente pela inexistência de procedimentos para a recolha de lições aprendidas; pela pressão de prazos com curtos prazos entre o fim de um projeto e o início do projeto seguinte. Diversos autores têm explorado a necessidade de obter mais lições aprendidas: “é necessário mais lições aprendidas com casos práticos para colmatar a lacuna entre a teoria e os benefícios obtidos pela indústria” [6], é necessário explorar as vantagens identificadas para validar a sua validade teórica através de estudos de caso adequados [7]. Alguns países, como o Reino Unido tem investido na gestão de lições aprendidas em projetos complexos (p.e. *Crossrail* e *Thames Tideway Tunnel*) dando assim o exemplo de como gerir o legado dos projetos [3].

2. Metodologia

2.1. Metodologia de investigação

O processo de captação das lições aprendidas baseou-se na observação direta, pelos autores, no empreendimento propriamente dito.

2.2. Caso de estudo

O caso de estudo apresentado é o Prolongamento a Vila d'Este da Linha D – Linha Amarela (doravante designado por ELA), promovido pela Metro do Porto (MdP). O projeto com via de 3,15 km em ambas as direções, estenderá a linha desde Santo Ovídio até Vila D'Este. A obra foi adjudicada ao Agrupamento Complementar de Empresas (ACE) Ferroviária / Alberto Couto Alves, pelo valor de 98.970.215,00€. Incluiu a construção de três novas Estações: Manuel Leão, Hospital Santos Silva e Vila d' Este – e um túnel com 771,1 metros. A ligação entre a linha existente e a nova inicia-se no novo Viaduto Santo Ovídio, passando por um túnel até à única estação subterrânea: Manuel Leão, onde a linha prossegue em túnel, com um acesso de emergência e um poço de ventilação (PVE), até chegar novamente à superfície na estação do Hospital Santos Silva, onde continua em trincheira, ramificando em direção ao Parque de Material e Oficina e a um trajeto à superfície que leva até à estação final Vila d'Este (Figura 1).

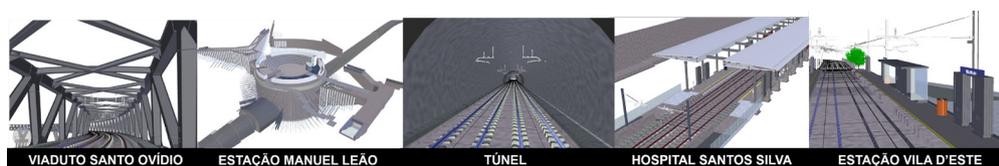


Figura 1
Modelos BIM Extensão
Linha Amarela.

A seleção deste empreendimento como caso de estudo deveu-se ao facto de: 1) ser um dos mais recentes exemplos na implementação do BIM em infraestruturas ferroviárias; 2) o empreendimento ganhou reconhecimento por adotar práticas exemplares na gestão de obras; 3) o projeto ofereceu oportunidades únicas de desenvolvimento e aprendizagem para as equipas envolvidas, devido à sua complexidade e desafios de colaboração.

2.3. Implementação BIM

A utilização do BIM tem vindo a desempenhar um papel essencial ao longo da cadeia de valor do sector da construção, o que contribui para aumento da produtividade e melhoria da competitividade das empresas. Alinhada com a visão estratégica nacional da digitalização na construção a MdP, posicionando-se nas entidades públicas pioneiras a nível nacional a adotar a metodologia BIM, incluiu o BIM nas cláusulas técnicas do Caderno de Encargos com o objetivo de: “auxiliar todos os intervenientes na empreitada na definição de métodos construtivos, avaliação de custos, controlo de prazos de execução e visando também a minimização dos problemas de execução da obra”, aos usos que serão descritos ao longo do artigo. Para tal, a MdP forneceu ao ACE modelos em LOD3, conforme a PAS 1192-2 “em elementos detalhados para execução e fabricação” e esclarecimentos adicionais que melhoraram a compreensão dos objetivos e necessidades do projeto. O ACE formou uma equipa BIM, com o objetivo de atender aos requisitos contratuais, liderada por um

Gestor do Departamento BIM responsável por diversas tarefas, incluindo a definição e atualização do PEB, coordenar informação e controle de RFIs. A restante equipa foi composta por técnicos e engenheiros subcontratados especializados em BIM e supervisionados pelo Coordenador BIM. O departamento BIM foi incorporado na Área Técnica, onde desempenhou também funções na preparação técnica e auxílio nas medições, dando apoio à Produção e a outros intervenientes como a topografia, subempreiteiros, fornecedores de equipamentos e planeamento.

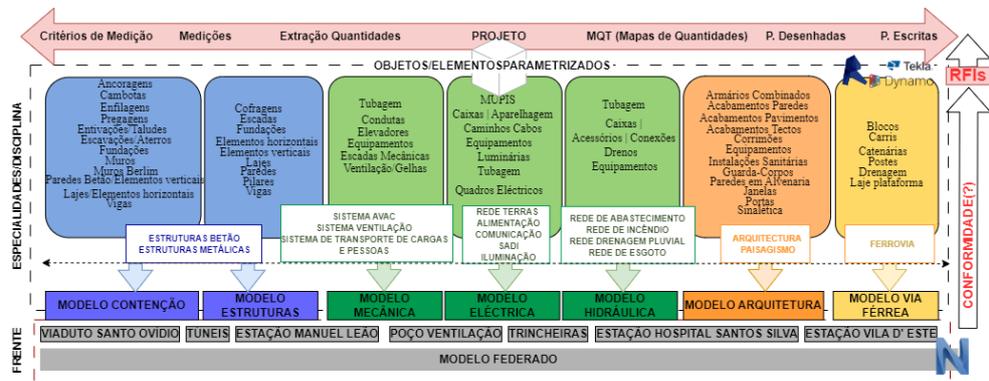
2.3.1. Ferramentas BIM

O Plano de Execução BIM (PEB) foi criado pelo ACE com base nos requisitos previstos no Caderno de Encargos e que previam procedimentos, responsabilidades, níveis de desenvolvimento (LOD), sistemas de classificação e de coordenadas, tipos de software, especificações e divisão dos modelos, bem como a plataforma colaborativa. No tocante ao Ambiente Comum de Dados, *Common Data Environment* (CDE) utilizado foi o *Procore*, plataforma de gestão amplamente utilizada na indústria da construção, que funciona como um sistema de nuvem, acessível à documentação de Projeto em qualquer lugar.

2.3.2. Modelos BIM de Projeto

Na fase inicial do projeto, adaptaram-se os modelos fornecidos pela MdP aos objetivos e usos pretendidos, implementando padrões de informação, como nomenclaturas e parâmetros compartilhados, que enriqueceram os objetos com dados essenciais, incluindo código articulado, materiais e custos/preços, entre outros, garantindo a conformidade geométrica com os critérios de medição. *Templates* foram desenvolvidos para otimizar processos, padronizando vistas, e filtros para organizar e visualizar informações específicas. Fez-se uma análise detalhada para validação da atinência dos modelos contratuais ao projeto de consignação, procedendo à correção das discrepâncias, seja por elementos em falta ou incorretos. Os modelos foram divididos por especialidades e frente de trabalho (Figura 2) utilizando-se *Autodesk Revit* para a modelação geral e *TEKLA* para estruturas metálicas, com a integração em um modelo geral multidisciplinar federado através do *Navisworks*, facilitando a coordenação e o acompanhamento da construção.

Figura 2
Segmentação Modelos e Coordenação Especialidades.



2.3.3. Medições, Orçamentos e Compras

Os elementos dos modelos foram seccionados de acordo com o planeamento, permitiu uma quantificação precisa por fases construtivas, facilitando a estimativa de custos e o apoio ao processo de compras através de dados exatos: quantidades e desenhos técnicos. Foi exigido aos subempreiteiros e fornecedores apresentarem as suas propostas em formato BIM com rigorosa validação destas na coordenação geral reforçaram a confiança nos resultados obtidos, estabelecendo uma base sólida para as fases subsequentes.

2.3.4. Coordenação, Preparação e Execução de Obra

Durante a análise mais aprofundada do processo de concurso deu-se início à preparação de obra. Nesta fase realizaram-se atividades de modelação para LOD4, coordenação, análise de estudos alternativos, análise de medições e custos associados, desenhos técnicos com respetivo planeamento. Ao detetar erros e omissões, iniciou-se a identificação de incongruências com pedidos de esclarecimentos, além de verificarem-se possíveis desafios à sua execução de determinados trabalhos. Ao longo da obra foram rececionadas alterações ao projeto com necessidade de constante coordenação com o já edificado e as especialidades. Na fase final da empreitada que compreende a entrega/receção definitiva toda a informação até então desenvolvida, está incrementada nos modelos e correspondente ao produto construído em reflexo do estado final da obra nos modelos *as-built*.

2.3.5. Gestão BIM

Para efeitos de gestão as horas dedicadas a cada atividade foram registadas, refletindo o tempo investido em dias para as diferentes tarefas (Figura 3). A análise do tempo demonstrou um comprometimento significativo com a modelação e coordenação do projeto, além de evidenciar a importância das tarefas de apoio técnico à obra e medições. A Estação Manuel Leão, as Trincheiras e o Viaduto sobressaíram pela intensa preparação técnica utilizando o BIM, destacando-se pelo uso aprofundado de desenhos de preparação e planeamento construtivo.

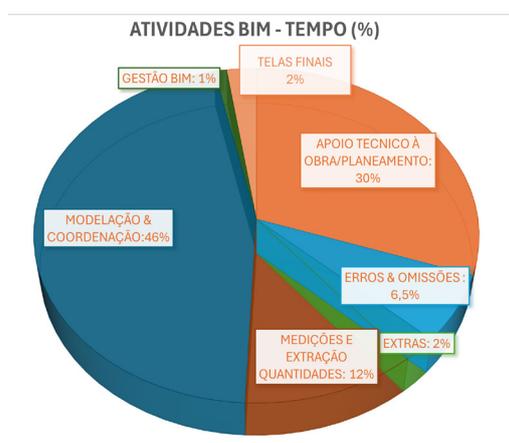


Figura 3
Tempo das Atividades BIM (%).

3. Lições aprendidas

Como qualquer processo, por mais simples que seja a sua mecânica, existem sempre desafios e obstáculos a serem ultrapassados. A seguir indicam-se os desafios e o modo como foram superados com sucesso bem como os obstáculos que surgiram e as respectivas propostas de solução para que não voltem a ocorrer em projetos similares.

3.1. Sucessos

3.1.1. Ferramentas BIM – PEB e CDE

Embora as diretrizes do PEB tenham sido descritas nos requisitos contratuais, deliberadamente a MdP permitiu-se uma certa flexibilidade na escolha das abordagens a serem adotadas, dando assim ao ACE a liberdade necessária para gerir as suas responsabilidades de acordo com uma proposta adaptada às características específicas do projeto. O PEB desempenhou um papel importante para clarificar responsabilidades, fluxos de trabalho e comunicação entre intervenientes e estabeleceu normas de qualidade e compreensão dos modelos. Quanto ao *Procore*, a plataforma oferece várias ferramentas e funcionalidades que permitiram ao ACE fazer a gestão de documentos, comunicações, cronogramas e a entrega das telas finais. Os benefícios associados constaram de: (1) Centralização de dados e gestão de documentos, eliminando a fragmentação da informação e garantindo alinhamento de todas as partes envolvidas; (2) Controle de versões de desenhos em tempo real, evitando confusões decorrentes de versões desatualizadas; (3) Simplificação da gestão de requisitos de informação (RFI), melhorando a eficiência no esclarecimento de dúvidas; (4) Acompanhamento visual com entregas mensais de fotografias e vídeos que armazenam o progresso histórico da obra; (5) Integração com ferramentas BIM para visualização de modelos 3D, facilitando a compreensão e a colaboração entre as diferentes especialidades do projeto.

3.1.2. Modelos BIM

A segmentação dos modelos BIM por frentes de obra e especialidades foi crucial para aprimorar o seu desempenho dos modelos, facilitando a colaboração e gestão da informação, permitiu uma verificação eficiente de interferências pela constante coordenação no *Navisworks*, e minimizou o risco de alterações acidentais - resultando em modelos mais organizados e menos sobrecarregados. Desafios específicos surgiram na modelação de geometrias complexas devido às limitações do REVIT, especialmente nas estruturas metálicas, túneis e a ferrovia. O que exigiu criar soluções inovadoras como *scripts* do Dynamo. A interoperabilidade com o TEKLA facilitou a integração e validação dos elementos de Estruturas Metálicas complexas no modelo coordenado. A modelação de armaduras foi dispensada devido ao seu provisionamento subcontratado e ao alto custo de modelação detalhada sem um retorno claro em eficiência. Em contrapartida, enquanto a modelação de cofragens e elementos de

contenção foi prioritária para quantificação, aprovisionamento e coordenação eficaz com as estruturas de betão envolventes.

3.1.3. Medições, orçamento e compras

O uso do BIM nesta área permitiu:

- **Redução de erros humanos:** a extração automatizada de quantidades a partir dos modelos proporcionou, de uma forma mais expedita e interativa, minimizar erros associados às estimativas manuais, obtendo-se uma estimativa precisa das quantidades em especial nos elementos de geometria complexa e irregular.
- **Otimização da gestão de custos:** a extração de quantidades deu transparência e precisão nas medições e reclamações, otimizando o controle financeiro do orçamento inicial, embora a sua aplicação tenha sido limitada a certos elementos. Permitiu análises de custo-benefício através da comparação de diferentes cenários, além de facilitar o ajuste de custos e orçamentação às modificações de projeto. Especialmente nos autos de medição mensais, a ênfase foi dada aos artigos de betão e à cofragem, com quantidades extraídas automaticamente e suportadas por relatórios e visualizações 3D do avanço dos trabalhos. (Figura 4).

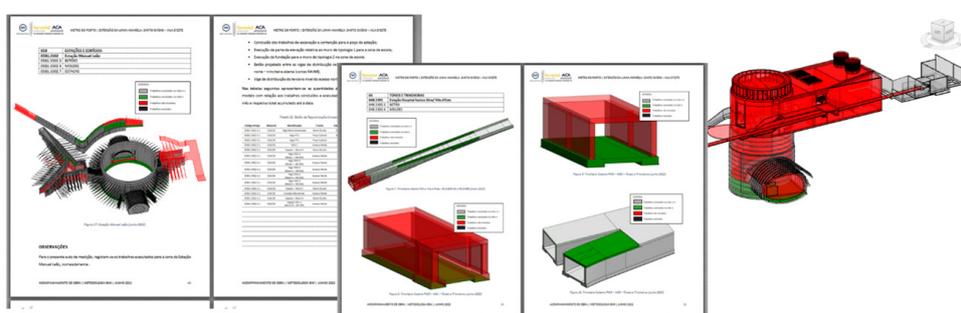


Figura 4
Autos de medição e relatórios justificativos.

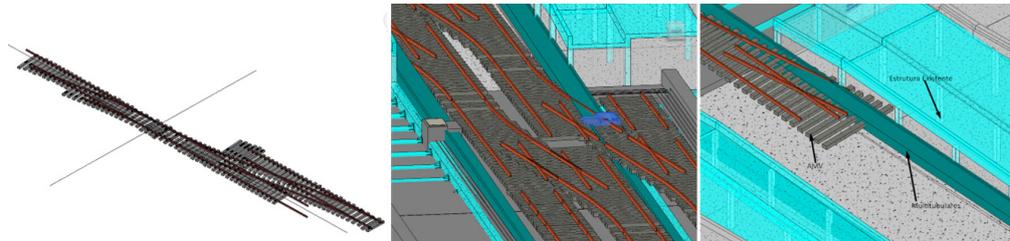
- **Otimização do processo de compras:** o BIM assegurou a pormenorização nos orçamentos e a negociação com os fornecedores. A extração de desenhos para compras e validação espacial das propostas dos subempreiteiros em cada especialidade, facilitou o processo de aprovisionamento e encomendas. Em processos de pré-fabricação e coordenação, permitiu a fabricação *off-site* – p.e., estrutura metálica de Estação Hospital Santos Silva foi fornecida com furos para passagem de tubagem da drenagem pluvial, eliminando assim a necessidade de ajustes no local e reduzindo o desperdício. Outro exemplo foram as escadas mecânicas e elevadores da Estação Manuel Leão, em que se fizeram várias interações com os fornecedores de equipamentos até chegar às dimensões pretendidas para conciliar com a arquitetura e estrutura.

3.1.4. Coordenação, preparação e execução de obra

A implementação do BIM para análise espacial e temporal das tarefas na simulação virtual de faseamento construtivo desempenhou um papel significativo na otimização de processos e fluxos de trabalho da área técnica que deram apoio à produção obra e em colaboração com as diferentes especialidades (incluindo subempreiteiros):

- **Visualização compreensível de cada elemento:** o aprimoramento do nível de desenvolvimento dos modelos não apenas enriqueceu a qualidade das peças desenhadas complementares ao projeto, tornando-as mais precisas e mais apelativas, mas também facilitou a compreensão do projeto em 3D e sua envolvente. Fazendo uso dos modelos nas reuniões de empreitada, melhorou a percepção e comunicação entre as equipas, possibilitando tomadas de decisão mais seguras. Dá-se o exemplo da montagem dos AMV's (aparelhos de mudança de via) na inserção com restantes elementos estruturais foi realizada com apoio de BIM (Figura 5).

Figura 5
Viaduto: Simulação e coordenação da inserção AMV's na plataforma.



- **Melhor antecipação de atividades a realizar:** O BIM auxiliou na gestão e controle do progresso dos trabalhos, usando modelos 4D para planear fases de construção. Com a simulação antecipada do progresso da obra obteve-se uma visão menos abstrata das condições em que cada tarefa ia ser realizada. Esta ferramenta foi importante para antever desafios que, de outro modo, apenas seriam detetados mais tarde. Isto otimizou a sequenciação de tarefas e possíveis soluções alternativas ao uso dos espaços em estaleiro, tornando o processo mais próximo da realidade para planos de monitorização e de segurança. Dá-se o exemplo da implantação das fundações dos pilares do Viaduto (Figura 6), cujas estruturas envolventes e trabalhos de contenção foram modeladas em análise de cenários construtivos, considerando as condicionantes urbanas e os serviços afetados tornando possível antever e quantificar os trabalhos de demolição, terraplanagens e inserção necessários.

Figura 6
Viaduto: Estudo de contenções e implantação fundações dos pilares.



- **Deteção antecipada de erros e conflitos:** permitiu identificar em fase de pré-construção erros de projeto e/ou conflitos entre diferentes elementos e especialidades. Este processo facilitou a elaboração dos pedidos de esclarecimento (RFIs), aumentou a precisão na documentação de peças escritas ao resolver ambiguidades entre plantas, cortes e alçados, diminuindo a probabilidade de erros durante a fase de construção. Dá-se o exemplo da importância da modelação dos elementos de contenção - ancoragens, pregagens, ensilagens - dos Poços e túneis, onde se identificaram colisões e procedeu-se a alterações construtivas atempadamente.
- **Apoio a telas finais:** com a atualização continua dos modelos e o armazenamento da informação o BIM provou ser um recurso valioso na fase de conclusão do projeto. Além do auxílio para documentação e telas finais, estão refletidos nos modelos *as-built* o histórico de obra com especificações dos componentes úteis para a fase que se segue de operação e manutenção.

3.2. Desafios e barreiras

Apesar da nova linha não ser muito extensa (3.15 km), o projeto é notavelmente complexo devido à sua abrangência de várias disciplinas e às características específicas de viadutos, túneis e ferrovias. A implementação do BIM na fase de construção sem enfrentar desafios substanciais e obstáculos operacionais significativos.

3.2.1. Resistência à mudança

A integração do BIM nos processos de construção representa uma transformação profunda em relação aos métodos tradicionais, exigindo que as equipes se adaptem a novas formas de trabalho. Tal mudança enfrenta resistências comportamentais e culturais, uma vez que as pessoas podem ser relutantes em adotar práticas inovadoras, especialmente quando os benefícios não são imediatos. Essa resistência foi particularmente notável em relação ao uso do *Procore*. Para superar esses obstáculos, foram realizadas ações de formação focadas em maximizar o uso das funcionalidades da plataforma. Ao ser notório os benefícios dos usos BIM, com o tempo a equipa BIM veio assumir maior responsabilidade passando a ser necessária e quase obrigatória a sua validação em tomadas de decisão e preparações técnicas. De notar que a liderança de topo, na figura do Diretor Técnico da Empreitada, foi um dos grandes impulsionadores para a sensibilização dos benefícios tangíveis desta metodologia tendo estabelecido uma estratégia eficaz e persuasiva de comunicação com todos os intervenientes e em contínuo *feedback*, o que permitiu que estes expressassem as suas necessidades envolvendo-se nos processos de decisão e fortalecendo a gradual aceitação do BIM.

3.2.2. Curva de aprendizagem

A transição para a metodologia BIM na ELA caracterizou-se por uma curva de aprendizagem gradual, inicialmente marcada por resistência e desafios decorrentes da complexidade e singularidade das diferentes especialidades. A estratégia adotada

incluiu a sensibilização das equipas através de comunicação eficaz sobre as potencialidades do BIM e a partilha de análises de conflitos iniciais. O gestor BIM conduziu sessões formativas para o uso do *Navisworks* e um Projeto-Piloto foi implementado, durante o processo de Erros e Omissões, para quantificação expedita de volumes de betão e áreas de cofragem. Uma vez demonstrado e validado o projeto-piloto, a equipa avançou com maior experiência e novos *insights* para a preparação técnica das trincheiras, estudos de inserção dos pilares do Viaduto e faseamento construtivo das estruturas de contenção da Estação Manuel Leão e do Poço de Ventilação, incluindo a coordenação de especialidades e a integração em reuniões com restantes departamentos. A diversidade de disciplinas e a necessidade de coordenação entre elas foi um ponto crítico onde a aplicação prática do BIM acelerou substancialmente a aprendizagem da equipe.

3.2.3. Comunicação para a obra

Num projeto como a ELA, que envolve múltiplas frentes de trabalho e uma equipa diversificada, a comunicação eficaz é essencial para otimizar tarefas e evitar mal-entendidos e problemas. No entanto, devido à pressão de prazos e muitas vezes haver o risco de se fazer o avanço nos trabalhos com falta de validação técnica, aumenta-se significativamente a propensão a erros. Neste caso, foi fundamental estabelecer processos de comunicação claros e eficientes, em reuniões regulares, promovendo uma cultura de comunicação aberta, visitas frequentes à obra e priorizando a documentação adequada. Isto ajudou a minimizar as barreiras à comunicação e garantir que todas as partes estejam alinhadas e informadas, contribuindo para o sucesso da obra.

4. Conclusões

A implementação BIM no projeto de ELA exigiu uma abordagem integrada e inovadora revelando-se uma jornada desafiadora e, ao mesmo tempo, repleta de sucessos, agregando valor na qualidade do produto final, atendendo às expectativas do cliente. Durante o desenvolvimento da obra, desde a fase de projeto até à receção definitiva, o BIM foi ganhando maior responsabilidade atingindo o estágio relevante de maturidade nos processos organizacionais da empreitada, seja na preparação técnica, validação de soluções e apoio nos autos de medição. Ao explorar os sucessos obtidos fica evidente que o BIM proporcionou diversas vantagens descritas neste relatório. No entanto, o caminho não foi marcado apenas por sucessos. Vários desafios surgiram ao longo do projeto. Essas dificuldades transformaram-se em lições valiosas, contribuindo para aperfeiçoar o uso do BIM em futuros projetos. O projeto em questão não se destaca somente como um marco significativo na infraestrutura, mas também como um exemplo da capacidade de inovação e resiliência diante de obstáculos complexos no setor de engenharia e construção. Quanto ao legado da obra no tocante a lições aprendidas, na tabela 1 apresentamos algumas lições a retirar deste trabalho, sintetizando aquelas que consideramos as mais cruciais a serem seguidas para futuras empreitadas.

Tabela 1: Lições Aprendidas e Impactos Futuros

Tema	Lição Aprendida e impacto futuro
Obrigatoriedade uso BIM	O Dono de Obra deve estipular o BIM como sendo de uso obrigatório desde a fase de projeto, passando pela fase de preparação de obra e terminando na operação e manutenção, relevante para o sucesso da sua implementação.
Flexibilidade e Adaptação	A flexibilidade na abordagem BIM provou ser uma mais-valia nas respostas às obrigações contratuais e uma vantagem para lidar com diferentes desafios de caráter de planeamento e produção, beneficiando a apresentar soluções mais criativas.
Integração e Colaboração	A colaboração entre intervenientes dos diversos setores de produção, através de reuniões onde se exponham os modelos BIM, é essencial para o sucesso do projeto. Devendo ser estabelecida como prioridade pela gestão do projeto.
Formação contínua	O investimento de tempo e recursos para garantir formação contínua a todos os intervenientes de todos os setores é essencial de modo a maximizar todos os benefícios tangíveis BIM
Ambiente colaborativo de dados e informação	A escolha de um ambiente colaborativo de dados funcional, flexível e adaptativo é essencial e muito relevante para atender aos requisitos específicos do projeto e do trabalho colaborativo, bem como para apoiar a resolução de RFI's.
Plano Execução BIM	A padronização e documentação de processos garante que todos os envolvidos compreendam a sua estrutura e propósito e utilizem, segundo diretrizes claras para a equipa e definindo responsabilidades e fluxos de trabalho, os mesmos processos.
Atualização contínua dos modelos	A atualização contínua dos modelos, incorporando <i>feedback</i> diário das equipas em estaleiro, é fundamental para refletir, de um modo preciso, alterações e progressos reais da obra.
Colaboração e comunicação ativa	A cultura de colaboração ativa entre os diferentes responsáveis de setores, incentivando as equipas a comunicar desafios e <i>insights</i> , é essencial para abordar problemas e ajustes em tempo real. numa comunicação simples e eficaz
Curva de aprendizagem	A curva de aprendizagem e a resistência à mudança impuseram estratégias específicas e em consonância com práticas já em curso, como reuniões, mentorias, comunicação eficaz e exemplos práticos.
Simulações e análises antecipadas	A realização de simulações de realização de tarefas bem como de análises de conflitos antecipados e possíveis cenários alternativos ajuda a garantir uma preparação mais eficaz e a prever e a resolver problemas antes da construção.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Metro do Porto, Ferrovia / Alberto Couto Alves, FASE/Ayesa, pelo apoio neste estudo e a todas as empresas envolvidas neste projeto.

Referências

- [1] Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. (2017). A review of risk management through BIM and BIM-related technologies. *Safety Science*, 97, 88-98. doi:10.1016/j.ssci.2015.12.02
- [2] Olugboyega, O., & Olugbenga, A. (2018). Correlation analysis of benefits of Building Information Modelling and clients' requirements. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(8), 53-68

- [3] Tender, M., Fuller, P., Couto, J., Gibb, A., & Yeomans, S. (2021). Emerging technologies for health, safety and well-being in construction industry. In B. e. al (Ed.), *Industry 4.0 for the built environment – methodologies, technologies and skills* (pp. 369-390). Switzerland: Springer Nature.
- [4] Alomari, K., Gambatese, J., & Anderson, J. (2017). Opportunities for using Building Information Modeling to improve worker safety performance. *Safety*, 3(7). doi:10.3390/safety3010007.
- [5] Carrilo, P., Ruikar, K., & Fuller, P. (2013). When will we learn? Improving lessons learned practice in construction. *International Journal of Project Management*, 31(4), 567-578. doi:10.1016/j.ijproman.2012.10.005.
- [6] Pidgeon, A., & Dawood, N. (2021). BIM adoption issues in infrastructure construction projects: analysis and solutions *Journal of Information Technology in Construction*, 26, 263-285. doi:10.36680/j.itcon.2021.015.
- [7] Tender, M., Fuller, P., Couto, J., Demian, P., Chow, V., Silva, F., Long, M. (2022). Real world lessons that can assist construction organisations in implementing bim to improve the osh processes Paper presented at the PTBIM – Portuguese BIM Conference, Braga.

BIM para portos – Case terminal STS 11

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.44>

**Wesley Castelo¹,
Renato Gama¹, Vinícius, Santana¹**

¹ *LPC Latina, São Paulo*

Resumo

Este artigo destaca a importância crucial dos portos como ativos estratégicos para o desenvolvimento econômico de um país, com um foco especial no Porto de Santos – Brasil, e seu terminal STS 11. Os portos desempenham um papel vital no comércio internacional, sendo pontos de entrada e saída para uma grande variedade de mercadorias, o que os torna essenciais para a economia global.

O Porto de Santos, o maior da América Latina, serve como um exemplo emblemático. Localizado no estado de São Paulo, este porto é um motor chave para o comércio brasileiro, responsável por uma parcela significativa do movimento de exportações e importações do país. O terminal STS 11, especificamente, é um ponto focal no porto, tratando de uma vasta gama de cargas e contribuindo significativamente para a eficiência e capacidade do porto.

Este artigo também aborda a crescente integração de novas tecnologias nos portos, com ênfase no uso do Building Information Modeling (BIM). O BIM está transformando a maneira como os projetos de infraestrutura portuária são planejados, construídos e mantidos. No contexto do Porto de Santos e do terminal STS 11, o BIM oferece várias vantagens, como a otimização da gestão de recursos, a melhoria da colaboração entre as partes interessadas e a facilitação de operações mais sustentáveis e eficientes.

Ao implementar o BIM, o Terminal STS 11 terá uma melhora significativamente a sua eficiência operacional, reduzir custos e impactos ambientais, e aumentar a sua

competitividade no cenário global. A metodologia BIM representa um passo adiante na modernização dos portos, garantindo que eles permaneçam essenciais para o comércio e a economia no futuro.

Em suma, o Porto de Santos e o terminal STS 11 são exemplos claros da importância dos portos para o desenvolvimento econômico de um país. A adoção de novas tecnologias, como o BIM, é fundamental para garantir que essas infraestruturas continuem a desempenhar seu papel vital de maneira eficiente e sustentável.

1. Introdução

À medida que entramos em uma nova era de inovação e eficiência na gestão portuária, o Building Information Modeling (BIM) emerge como uma metodologia revolucionária, redefinindo o setor portuário ao redor do mundo. Este artigo explora o impacto transformador do BIM em portos utilizando o Terminal STS 11 como case, esse setor que é o coração do comércio global e um indicador chave do desenvolvimento econômico.

O cenário portuário mundial enfrenta desafios únicos, desde a gestão eficiente do tráfego marítimo até a manutenção de infraestruturas críticas sob condições extremamente variadas. Aqui, o BIM se apresenta como uma solução digital inovadora, oferecendo um modelo detalhado e integrado para o planejamento, execução e gestão de projetos portuários. Esta tecnologia não é apenas uma ferramenta de modelagem; ela é uma metodologia para a integração e análise de dados, facilitando uma melhor tomada de decisões e otimizando a operacionalidade portuária.

Ao redor do globo, portos pioneiros estão adotando o BIM para superar desafios operacionais e ambientais, melhorando a eficiência e a sustentabilidade. Desde o Porto de Roterdã na Holanda, conhecido por sua inovação e eficiência, até o Porto de Singapura, que lidera em tecnologia portuária, o BIM está no centro dessa transformação.

Este artigo examina o caso de sucesso STS 11 e as melhores práticas na implementação do BIM em portos, destacando como esta tecnologia está impulsionando uma mudança positiva em termos de eficiência operacional, redução de custos e impacto ambiental. Abordaremos como o BIM permite uma visão holística dos projetos portuários, integrando diferentes aspectos como design, construção, operações e manutenção, e como isso se traduz em benefícios tangíveis para o setor portuário.

Através de uma análise detalhada e estudos de casos globais, buscaremos entender como o BIM está não apenas remodelando os portos existentes, mas também moldando o futuro dos novos projetos portuários. Esta introdução serve como um convite para explorar o mundo dinâmico dos portos modernos, onde o BIM está desempenhando um papel vital em direcionar inovações que vão além da tecnologia, impactando economias e sociedades em escala global.

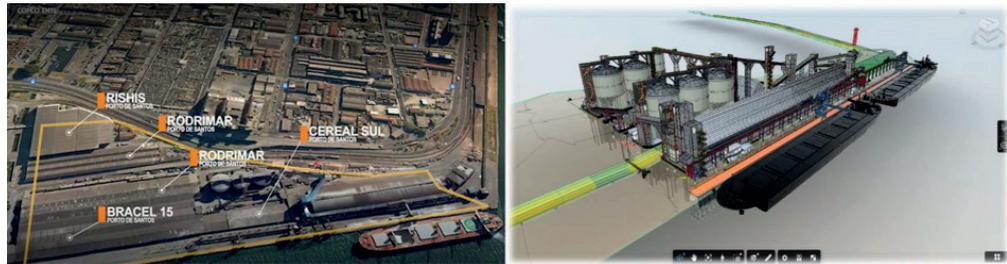
2. LPC Latina, Cofco Internacional e o Terminal STS 11

Localizado no bairro de Paquetá, conhecido por sua importância histórica e posição geográfica privilegiada, oferece ao Terminal STS 11 um acesso sem precedentes às principais rotas marítimas e uma conexão vital com as redes de transporte terrestre. A escolha desta localização não é apenas uma questão de conveniência logística, mas também uma decisão estratégica que coloca o terminal no epicentro das atividades portuárias de Santos, um dos portos mais movimentados da América Latina.

A extensão do terminal é outro aspecto que merece destaque. Na Fase 1, o STS 11 abrange uma área de 61.976 m², proporcionando capacidade e infraestrutura significativas para operações portuárias. Contudo, é na Fase 2 que o terminal revela seu verdadeiro potencial. Expandido para uma área impressionante de 98.159 m², o terminal será equipado com dois berços exclusivos, ampliando sua capacidade operacional e permitindo o manuseio eficiente de um volume maior de cargas.

A Cofco International, uma empresa chinesa de alimentos, conquistou o direito de explorar o terminal STS 11 no Porto de Santos, através de um leilão na B3 em São Paulo. A empresa irá construir o que se tornará um dos maiores terminais portuários do Brasil para grãos vegetais, com capacidade para movimentar 14,3 milhões de toneladas por ano. O terminal será desenvolvido em duas fases e ocupará um total de 98 mil metros quadrados. A LPC LATINA, reconhecida por sua expertise em projetos de grande porte utilizando o BIM, foi contratada pela Cofco International para o desenvolvimento do projeto, licenciamento ambiental e gerenciamento de implantação com a utilização do BIM desde as fases iniciais. Com sua vasta experiência no setor de engenharia e construção, a LPC LATINA desempenhou um papel fundamental na criação de um modelo virtual tridimensional abrangente que integrava todas as informações relevantes, desde a arquitetura e estrutura até as instalações elétricas e sistemas de automação, cftv e etc.

Figura 1
Localização Terminal
STS 11.



Uma das principais vantagens da aplicação do BIM envolveram a coordenação e comunicação eficiente entre as diversas disciplinas envolvidas. Por meio do modelo virtual, os engenheiros, planejadores e outros profissionais puderam colaborar de forma integrada, compartilhando informações em tempo real dentro de um único ambiente comum de dados – Common Data Environment (CDE). Essa abordagem colaborativa resultou em uma melhor tomada de decisão, redução de erros e conflitos, e otimização dos processos construtivos. Com a LPC LATINA liderando a implementação do BIM, a coordenação entre as equipes envolvidas no Projeto STS11 foi aprimorada, garantindo uma execução eficiente e de alta qualidade, desde levantamento das condições existentes usando Laser Scanners, Drones, o uso de CDE para centralização das informações, IFC para troca de informações entre softwares até o uso do BIM para o gerenciamento mais eficiente da obra no projeto Executivo.

Além disso, a gestão da informação ao longo do ciclo de vida da infraestrutura, garantida pelo BIM, será fundamental para a manutenção e operação futura do terminal portuário, pois nos modelos foram inseridos parâmetros determinados em conjunto

com a equipe de manutenção da cofco, como por exemplo a folha de dados dos equipamentos mecânicos, um outro exemplo para a operação foi a simulação de clearance exigido para cada equipamento. Foi avaliado quanto a passagem de pessoas criando gabaritos verticais, e outro uso dos gabaritos verticais foi para passagem livre do Trem, onde usamos gabaritos estaticos e dinâmicos para essa verificação. Através do modelo virtual, será possível acessar rapidamente informações relevantes, como manuais de operação, especificações técnicas e histórico de manutenções através de um banco de dados gerado e estruturado posteriormente pelo cliente em futuras atualizações. A estruturação dos dados do modelo foram definidos a partir do mapeamento dos parâmetros em IFC, facilitando a gestão eficiente e precisa do empreendimento, sendo que o registro do historico de manutenção será imputado e alimentado no modelo a partir da operação do ativo.

Em conclusão, a aplicação bem-sucedida do BIM no projeto portuário da LPC LATINA com o Projeto STS11 e a Cofco International representa um marco importante na indústria de construção e gestão de projetos. A expertise, aliada à colaboração entre todas as partes envolvidas, permitiu a integração eficiente de disciplinas, a simulação de cenários e a gestão da informação ao longo do ciclo de vida da infraestrutura. Esse caso de sucesso demonstra o potencial do BIM para aprimorar a eficiência, qualidade e sustentabilidade dos projetos portuários, tornando-se uma referência para empreendimentos futuros.



Figura 2
Modelo BIM: Terminal STS 11.

2.1. 0 Projeto

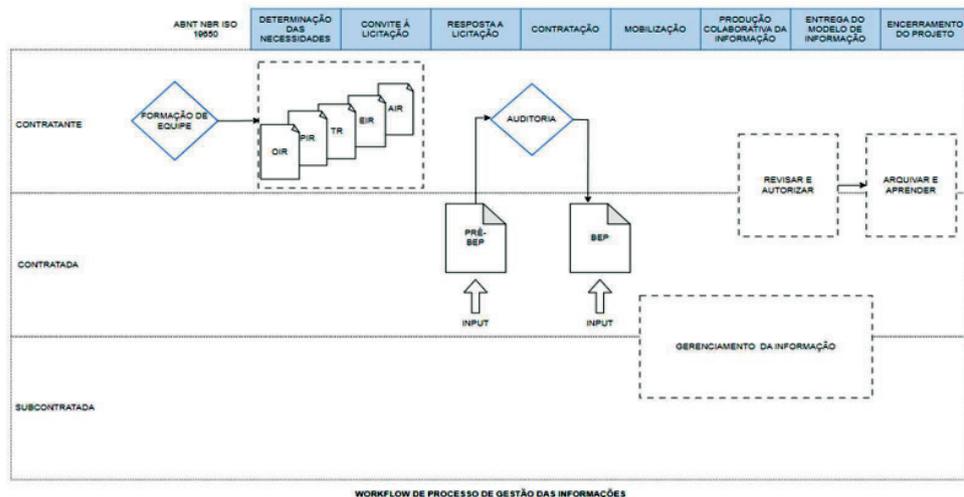


Figura 3
Modelo BIM (2022).

Este projeto, desenvolvido pela LPC Latina com a aprovação da COFCO Internacional, representa um marco no setor de Building Information Modeling (BIM), seguindo rigorosamente as diretrizes da ISO 19650 para a implementação eficaz do BIM. A estruturação do projeto envolveu a criação de diversos documentos-chave: AIR (Asset Information Requirements), PIR (Project Information Requirements), EIR (Employer's Information Requirements), OIR (Organizational Information Requirements) e um Termo de Referência, além do desenvolvimento de um Pre-BEP (BIM Execution Plan) para a contratação do projeto executivo.

Em resumo, a criação destes documentos em conformidade com as normas ISO e sob a diretriz da LPC Latina e aprovação da COFCO Internacional, estabelece uma base sólida para o sucesso do projeto. Cada documento desempenha um papel vital em garantir que todas as fases do projeto, desde o planejamento até a execução e a gestão de ativos, sejam realizadas com a máxima eficiência, precisão e de acordo com as melhores práticas internacionais.

Figura 3A
Fluxo de processo de gestão da informação.



2.2. BIM

Em meados da década de 70, já se falavam nos conceitos e abordagem hoje tratados como BIM. Em 1975 foi publicado no jornal um protótipo de trabalho, o Building Description System ou Sistema de Descrição da Construção, feito por Charles M. Chuck Estman. A publicação abordava o conceito de como definir elementos de forma interativas, qualquer tipo de análise quantitativa ser ligada diretamente à descrição, facilidade para gerar custos e quantitativos através do modelo, verificação automatizada entre outros. (EASTMAN, C. et al, 2014) [1].

O BIM é a base para um sistema integrado de concepção, produção e uso na construção, ou seja, é o caminho para o setor alcançar patamares de produtividade mais elevados e, por extensão, rentabilidade, que sejam comparáveis aos demais setores da economia, segundo (LEUSIN, S. 2020, p. 04) [2].

A forma mais popular de interpretar o BIM é imaginando uma obra em um ambiente digital 3D, onde teremos a integração de todas as disciplinas de infraestrutura modeladas, suportando uma integração de informações com possibilidade de acesso a todos os envolvidos no projeto, possibilitando a detecção prévia de eventuais interferências, diminuição de erros, melhorias no planejamento geral da obra e fases construtivas, gerando uma economia no custo geral da construção e outros pontos que estão revolucionando a construção civil. Com isso, concessionárias, órgãos públicos e empresas já começaram a utilizar ou implementar BIM em seu ambiente de trabalho, a fim de melhorar o seu fluxo de colaboração e adquirir todos os benefícios possíveis. (GONÇALVES JR, 2018) [3].

O Building Information Modeling (BIM) está emergindo como uma metodologia revolucionária no setor portuário, trazendo uma transformação significativa em como os projetos portuários são planejados, executados e gerenciados. O uso do BIM em portos envolve a criação de modelos digitais detalhados que integram dados multidimensionais, permitindo uma visualização abrangente de projetos de infraestrutura portuária em todas as suas fases e o melhor coletando e gerando dados em tempo real para alimentar o Porto, um dos maiores benefícios.

- **Planejamento e Design:** O BIM ajuda no planejamento e design precisos de instalações portuárias, incluindo berços, áreas de armazenamento, acessos viários e marítimos, e estruturas de suporte. Ele permite simulações e análises detalhadas para otimizar o layout e as funcionalidades. Por se tratar de um terminal com equipamentos móveis e de partes girantes móveis, utilizamos a ferramenta para mapear os pontos de risco das interferências na operação, com a participação de operadores e time de manutenção, e aplicamos soluções de engenharia para proteger estes locais. Além disso, no quesito segurança utilizamos os gabaritos aplicando a NR-12 com os espaços seguros para os trabalhadores do terminal.
- **Construção e Implementação:** Durante a fase de construção, o BIM facilita a coordenação entre diferentes equipes, ajudando a identificar e resolver conflitos potenciais antes que se tornem problemas no canteiro de obras.
- **Operações e Manutenção:** O BIM fornece uma base para a gestão eficiente das operações portuárias. Ele permite o monitoramento contínuo e a manutenção das infraestruturas portuárias, apoiando a tomada de decisão baseada em dados para reparos e atualizações, o modelo foi estruturado de forma que ele siga sendo usado na operação do ativo, para torna-se futuramente um Digital Twin, com controle de sensores das esteiras e demais sensores que auxiliem a operação do Ativo por exemplo.
- **Sustentabilidade e Segurança:** O Building Information Modeling (BIM) é fundamental para aprimorar a sustentabilidade e a segurança nas operações portuárias. Ele viabiliza análises detalhadas de impacto ambiental e simulações de segurança abrangentes. Essas simulações incluem estudos sobre variações de maré, processos erosivos e o desgaste dos ativos portuários, contribuindo diretamente para a mitigação de riscos e a promoção de práticas operacionais mais seguras e ambientalmente responsáveis. Com relação a

sustentabilidade em um dos seus tripés, meio ambiente, o projeto conta com as mais modernas técnicas de Engenharia para a contenção de derrames e emissão de particulados. Em todas as transferencias de transportadores de correia sempre se faz necessário o uso de filtros compactos para evitar estes problemas. Em nossas reuniões de DESIGN REVIEW com o time de engenharia, era possível através do modelo federado fazer a verificação visual da presença destes equipamentos e não somente através de documentos de fluxogramas de engenharia em 2d.

Um dos exemplos mais notáveis do uso de BIM em um projeto portuário é o Porto de Roterdã, na Holanda. Considerado um dos portos mais avançados e eficientes do mundo, Roterdã utilizou o BIM para várias iniciativas, incluindo a expansão e modernização de suas instalações, no Brasil já participamos de diversos projetos Portuários em BIM, porém poucos desses cases podemos divulgar por questões estratégicas das empresas, mas o STS 11 foi um case no qual podemos mostrar para todos e visualizarmos os ganhos que o BIM, nos proporcionou juntos, conforme demonstrado ao longo do artigo.

2.3. Usos BIM

O Projeto que ficou conhecido como STS 11, utilizou o BIM para o planejamento e execução da expansão. O BIM foi essencial para simular diferentes cenários de construção e operação, otimizando a disposição do espaço e a eficiência logística. Fizemos vários estudos de cenários e apresentamos aos clientes, tínhamos um ganho na simulação das capacidades usando o Bim, pois conseguimos ter rapidez e acertividade no que o cliente exigia de capacidade estatica do terminal, o BIM permitiu uma gestão de projeto integrada, melhorando a colaboração entre engenheiros, construtores e operadores portuários. Isso resultou em uma execução mais eficiente do projeto, com menor risco de erros e atrasos, pois tínhamos um prazo curto de desenvolvimento do Projeto básico para dar inicio ao projeto executivo.

Figura 4
Estudo volumétrico dos produtos.



2.4. Desafios de usar o BIM em projetos portuários

Utilizar o Building Information Modeling (BIM) em projetos portuários oferece diversas vantagens, mas também apresenta certos desafios e dificuldades. Esses desafios são importantes para entender e superar a fim de maximizar os benefícios do BIM em ambientes portuários. Aqui estão algumas das principais dificuldades encontradas:

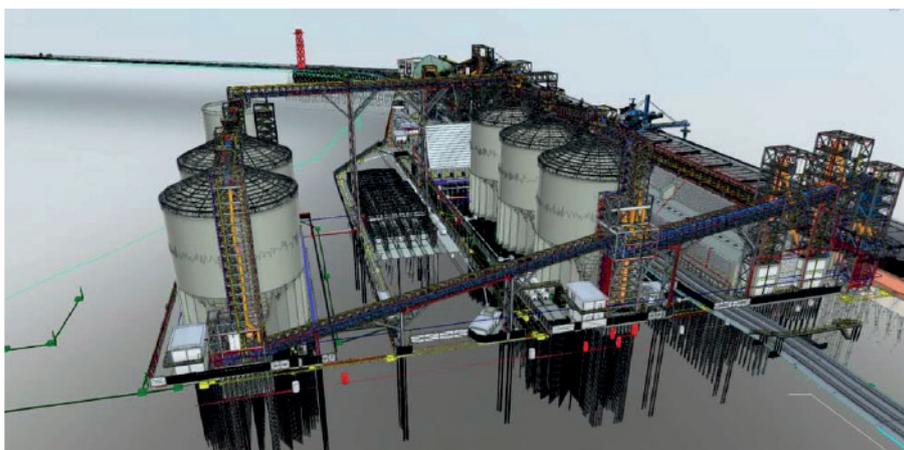


Figura 5
Terminal STS 11 –
Projeto Básico.

- **Complexidade do Projeto:** Projetos portuários são inerentemente complexos, envolvendo uma variedade de estruturas como cais, terminais, sistemas de drenagem, entre outros. Integrar todos estes elementos em um modelo BIM coeso pode ser desafiador, pois temos limitações de integração entre softwares, como, por exemplo, o fato de alguns softwares não aceitarem arquivos nativos de revit e termos que adotar um padrão aberto de intereoperabilidade o IFC, que também possui limitação no seu esquema 4.1 para Infraestrutura.
- **Intereoperabilidade:** A falta de intereoperabilidade entre diferentes softwares BIM pode dificultar a colaboração efetiva e o compartilhamento de dados entre as diversas partes interessadas envolvidas em um projeto portuário.

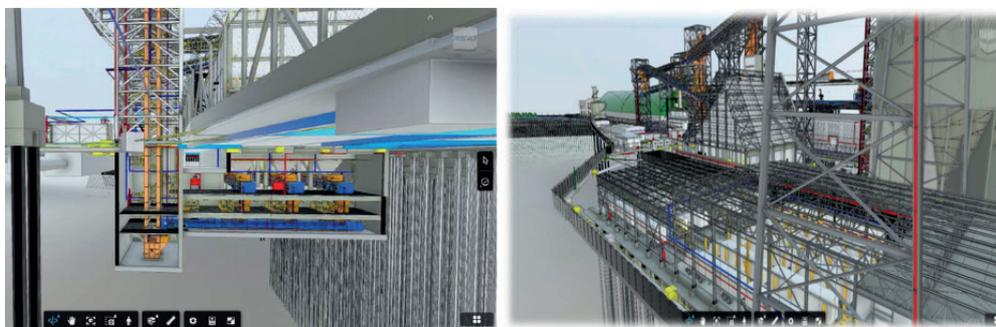


Figura 6
Uso do IFC para
Intereoperabilidade.

- **Escala e Detalhamento:** Projetos portuários são geralmente de grande escala e requerem um alto nível de detalhamento. Gerenciar essa escala e detalhamento dentro do BIM pode exigir recursos computacionais significativos e expertise especializada.

Figura 7

Uso de Nuvem de pontos para integração com o existente.



- **Adaptação às Condições Ambientais:** Portos estão frequentemente sujeitos a condições ambientais desafiadoras, como salinidade, umidade e erosão. Modelar e simular essas condições no BIM para garantir a durabilidade e a resiliência das estruturas pode ser complexo. Conforme citado no item de segurança, para considerar essas condições, foram executadas simulações que englobaram desde subida da maré, erosões e desgaste do ativo.
- **Custos Iniciais e ROI:** A implementação do BIM em projetos portuários pode exigir um investimento inicial significativo em termos de software, hardware e treinamento. Além disso, pode ser desafiador quantificar o retorno sobre o investimento (ROI), especialmente para stakeholders que não estão familiarizados com o BIM.
- **Treinamento e Competência da Mão de Obra:** A falta de profissionais qualificados em BIM é um desafio significativo. O treinamento e a atualização de equipes para utilizar eficientemente as ferramentas e processos BIM podem ser onerosos e demorados, portanto foi realizado treinamentos com a equipe interna e com os parceiros para uma completa capacitação dos mesmo na utilização das ferramentas e fluxos de trabalho BIM.
- **Gestão de Mudanças:** A adoção do BIM requer uma mudança significativa na cultura organizacional e nos processos de trabalho. Gerenciar essa mudança e obter a adesão de todas as partes envolvidas pode ser um obstáculo significativo. Para atingir este objetivo foram realizadas workshops de conscientização e incentivos internos para uma melhor aderência as mudanças.
- **Integração com Sistemas Existentes:** Integrar o BIM com sistemas legados e processos existentes nos portos pode ser desafiador, especialmente se os sistemas antigos não forem compatíveis com as novas tecnologias BIM. Para este case a solução recomendada para os operadores do terminal foi a

modernização desses sistemas para uma melhor integração com a metodologia BIM.

- **Segurança de Dados e Privacidade:** Com o BIM, grandes volumes de dados sensíveis são gerados e compartilhados. Garantir a segurança desses dados e manter a privacidade pode ser uma preocupação, especialmente em projetos de infraestrutura crítica.
- **Normas e Regulamentos:** A falta de normas e regulamentos específicos para a aplicação do BIM em projetos portuários pode resultar em inconsistências e incertezas sobre as melhores práticas a serem adotadas. Para suprir esta deficiência buscamos normas internacionais como a ISO 19650, ISO 15965, Guia BIM – DEL SISTEMA PORTUARIO DE TITULARIDAD ESTATAL – 2019 (Padrão BIM de Projetos Portuários Espanhol)



Figura 8
Biblioteca desenvolvida.

- **Biblioteca:** Famílias tiveram que ser desenvolvidas do zero, pois eram muito específicas.

3. Conclusão

Este artigo ressalta a importância de uma abordagem inovadora e adaptativa no enfrentamento dos desafios do desenvolvimento de infraestrutura. A integração de novas tecnologias, a capacitação contínua das equipes e a adaptação às mudanças são fundamentais para o sucesso em um ambiente cada vez mais dinâmico e competitivo. O caso do Terminal STS 11 no Porto de Santos é um exemplo claro de como a combinação de estratégia, tecnologia e visão pode resultar em um projeto de infraestrutura excepcionalmente bem-sucedido, estabelecendo um modelo para o futuro do desenvolvimento portuário global.

À medida que concluímos a análise deste projeto pioneiro desenvolvido pela LPC Latina, com a aprovação da COFCO Internacional, fica evidente o imenso valor e o impacto transformador que a implementação avançada do Building Information Modeling (BIM) traz para o setor de infraestrutura portuária. A experiência do Terminal STS 11 no Porto de Santos não apenas reforça a importância da inovação

tecnológica em projetos de grande escala, mas também estabelece novos padrões de eficiência, sustentabilidade e excelência operacional.

A estratégia adotada pela LPC Latina, que envolveu a criação de bibliotecas específicas, treinamento intensivo de equipes, atualização de equipamentos, e a utilização de um CDE robusto e seguro, demonstrou uma abordagem holística e integrada ao desafio de modernizar a infraestrutura portuária.

Os resultados alcançados pelo Terminal STS 11 são testemunho do potencial que a metodologia BIM tem de transformar o setor de infraestrutura. Este projeto não apenas atendeu às necessidades atuais de operação portuária, mas também estabeleceu uma base sólida para futuras expansões e inovações. A experiência adquirida e as lições aprendidas servem como um guia valioso para futuros projetos em todo o mundo.

Referências

- [1] (EASTMAN, CHUCK. M. et al. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2011, 626 p.
- [2] Leusin, Sergio. Gerenciamento e Coordenação de Projetos em BIM. GEN - Grupo Editorial Nacional: Editora LTC, ano de publicação 2020.
- [3] GONÇALVES, Marly de M. O Uso do computador como meio pra a representação do espaço: estudo de caso na área de ensino do Digital & Virtual Design. 2009. 338 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

O processo de gestão BIM no projeto de reabilitação do edifício sede do Tribunal de Contas

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.45>

**Fernando Bagulho¹, João Lousada Soares¹,
Filipe Lima², Sébastien Roux²**

¹ *Atelier do Chiado, Lisboa*

² *Limsen Consulting, Lisboa*

Resumo

A implementação da Metodologia Building Information Modeling (BIM) está a transformar profundamente a maneira como os projetos de construção são concebidos, planeados e executados em todo o mundo. Dentro dos exemplos de aplicação desta metodologia, encontram-se documentadas especificidades associadas aos processos de reabilitação, que exigem muitas vezes abordagens próprias a que o estado da arte não dá ainda resposta, tratando-se de uma área em clara fase de adaptação por parte de todos os intervenientes. Neste contexto, o presente artigo documenta o desenvolvimento do processo em curso de reabilitação do Edifício-Sede do Tribunal de Contas (TDC), como caso de estudo que conjuga o BIM em reabilitação com o tema da contratação pública. Por um lado, são apresentados os principais métodos e procedimentos desenvolvidos. Por outro, são identificados alguns aspetos que sugerem uma necessidade de melhoria na adopção do BIM, ou, nalguns casos, uma mudança de paradigma regulamentar. Para isso, são analisadas componentes de dimensão contratual e tecnológica, descrevendo o modo como estes impactaram o processo, sendo possível sugerir propostas que contribuam para que outras entidades públicas que desejem adotar o BIM no futuro o façam de modo mais consistente.

1. Introdução

O panorama tecnológico ao serviço da indústria da construção está maioritariamente vocacionado para otimizar processos de obras novas, em todas as suas fases, o que é comprovado pelo facto da maioria da literatura e investigação BIM se basear neste tipo de obra [1].

A nível nacional, os desenvolvimentos BIM em torno do tema da reabilitação têm aprofundado questões como desempenho energético de estruturas existentes [2], integração de dados em modelos de estudo para reabilitação de alvenarias em contexto HBIM [3], verificação automática regulamentar de projectos a partir do modelos BIM (de modo alargado a obras de construção e reabilitação) [4] e possíveis utilizações de nuvens de pontos como referência para modelação BIM de modo automatizado [5].

Propondo soluções técnicas e ganhos de eficiência, estes importantes contributos estabelecem de uma forma geral caminhos possíveis de percorrer. São, na essência, esforços de investigação e desenvolvimento, não possuindo, todavia, o testemunho gerado num contexto de contratação pública em torno de uma obra de reabilitação.

No caso do controlo prévio municipal como uso BIM, a literatura chega a ser omissa, por exemplo, em relação às limitações que as cores convencionais geradas de modo automático por uma ferramenta BIM podem apresentar quando sujeitas a análise patrimonial por parte de entidades licenciadoras. A reabilitação, como disciplina, é também omissa nos primeiros documentos nacionais de suporte à contratação de serviços utilizando a metodologia BIM [6].

No que diz respeito à normalização, num momento em que tradução da norma EN ISO 19650 para Norma Portuguesa (NP) se encontra em votação, não existe ainda reflexão crítica sobre os procedimentos de contratação e execução de trabalhos no âmbito da parte 2 desta ISO. O modo como organismos públicos e restantes partes envolvidas se conseguem adaptar a este novo enquadramento de colaboração digital permanece por explorar, sendo a EN ISO 19650 mencionada em Portugal sobretudo no quadro de processos de implementação internos de empresas, de análises de software disponível no mercado, ou da aplicação do conceito de “Nível de Informação Necessária” [7] [8].

O presente artigo aborda estes temas a partir da experiência proporcionada pelo caso de estudo do TDC, sendo reportadas observações de diferentes actores envolvidos. A metodologia consiste em descrever os principais passos no processo de gestão de informação, identificando limitações encontradas e propondo medidas de aperfeiçoamento para futuros empreendimentos análogos.

2. Gestão de informação no processo de reabilitação do TDC

2.1. Caracterização do caso de estudo

O processo de reabilitação do edifício-sede do TDC teve início com um concurso internacional para a seleção de uma "Lead Appointed Party" (equipa de Arquitetura) responsável por uma "Delivery Team", que inclui não só as equipas de especialidades, mas também uma equipa de BIM Management (Information Management. No seu conjunto, a entidade fornecedora é liderada pelo Atelier do Chiado, Arquitetos Lda. e inclui as empresas Betar, Estudos e Projectos Lda; Prom&E Consulting; Tonal Engenharia Acústica; Arpas, Arquitectos Paisagistas Associados, Lda; Limsenconsulting, Lda. Para apoiar a entidade requerente, foi ainda assegurada a contribuição do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) nas valências de Gestor Geral da Qualidade, Auditoria e Assessoria Técnica.

A reabilitação deste edifício construído na década de 70 do Século XX, com estrutura em betão armado projetada de acordo com a regulamentação então vigente (REBA), tem três atos simultâneos e distintos: reconstruir, remodelar e preservar.

O primeiro, determina o reforço estrutural após avaliação da vulnerabilidade sísmica do edifício, imposto pela evolução do conhecimento científico no domínio da engenharia estrutural, no que respeita à ação sísmica (Eurocódigos).

O segundo, resulta da necessidade de reorganização funcional dos espaços de trabalho adaptada a novas formas de organização e de funcionamento dos serviços, decorrentes do teletrabalho e novas tecnologias de informação, bem como de reabilitação dos sistemas técnicos do edifício (eletromecânicos e elétricos).

O terceiro, resulta de se pretender preservar a imagem do edifício na cidade, dado tratar-se de uma obra icónica representativa de uma época, com autoria do Arq. Fernando Silva, arquiteto a quem foram atribuídos vários prémios Valmor.

2.2. Contratação – ambiente comercial e colaborativo

A gestão de informação, talvez o conceito prevalecente de todas as séries da EN ISO 19650, leva à identificação do papel do gestor de informação como elemento focal no trabalho colaborativo em BIM. Este papel, por princípio, é assegurado pela própria entidade requerente ou, em alternativa, por uma pessoa/entidade que a represente. Em termos de faseamento, esta contratação é, de acordo com a EN ISO 19650, a primeira ação a desenvolver no processo de gestão da informação durante o período de desenvolvimento de ativos.

No caso do TDC, a fase de avaliação e necessidade não incluiu a nomeação desta função, o que se pode considerar um desvio à ISO. Apenas posteriormente, já em sede de concurso internacional, o gestor de informação surgiu como função a assegurar por parte da equipa de desenvolvimento, deixando por isso de existir de modo

contratualmente independente. A constatação mais evidente que daqui resulta é a de que o gestor de informação passa, de forma inerente, a desempenhar as suas funções atendendo aos interesses da equipa em que se insere. Na prática, gerir os interesses da entidade requerente e da entidade fornecedora líder, pertencendo à segunda, não parece fomentar a isenção necessária aos melhores resultados na condução dos trabalhos.

Por esta razão, numa perspetiva de contratação pública, a abordagem mais apropriada será a de atender, sem desvios, ao preconizado no ponto 5.1.1 da EN ISO 19650-2, evitando eventuais fragilidades contratuais [9].

2.3. Compromisso e início dos trabalhos

Ainda que não tenha existido um documento formalmente equivalente aos requisitos de informação de projeto “EIR”, foram comunicados em fase de concurso os objetivos BIM do TDC, o que incluía um enquadramento comercial para assegurar serviços de gestão da informação em fase de obra. Este aspeto em particular é assinalável porque, ao contrário do que é comum em processos de concurso análogos, as entidades convidadas a licitar são informadas tempestivamente de um uso BIM que tende a ser menosprezado em fase de projeto – preparação de obra a partir de modelos e atualização destes para entrega do “As-built”.

Como resposta aos requisitos de informação de projeto, a mobilização da entidade fornecedora teve início com produção do plano de execução BIM (PEB), desenvolvido e partilhado na plataforma “Plannerly”, onde todos os membros do projeto acedem. Como usos BIM de prioridade alta foram definidos: modelação das condições existentes; desenvolvimento e autoria de projecto; coordenação de projeto; gestão de ativos e FM; Telas Finais/ Modelo “As-Built”. Estiveram em discussão outros usos de modelo que, em conjunto, foram identificados como secundários e cuja prossecução seria inconciliável com o cronograma de trabalhos, o que foi aceite pelo LNEC.

É também importante assinalar que os prazos contratuais impuseram que o desenvolvimento do PEB fosse simultâneo com o desenvolvimento do estudo prévio do projeto, o que se revelou inorgânico do ponto de vista de execução. Aqui, novamente, a sequência prevista pela EN ISO 19650-2, em que a fase de compromisso (momento em que se concretiza o PEB) antecede as fases de mobilização e produção, parece a mais adequada.

2.4. Ambiente comum de dados do projeto (CDE)

Como referido anteriormente, será na fase de “avaliação e necessidade”, de acordo com o ponto 5.1.7 da EN ISO 19650-2, que a entidade requerente deverá estabelecer um ambiente comum de dados (CDE). Por outras palavras, esta ação deve ocorrer antes da contratação das entidades fornecedoras que virão a colaborar na referida CDE. Este aspecto é fulcral do ponto de vista da propriedade dos dados que serão partilhados, devendo estes permanecer do lado da entidade requerente. Igualmente,

os requisitos de funcionamento desta CDE não deverão ser menosprezados – a título de exemplo, uma solução que não garanta a inviolabilidade dos dados e o seu *ras-treamento* permanente não deverá ser considerada adequada.

No presente caso de estudo, o estabelecimento da CDE acabou por ocorrer já na fase pós-contrato, o que, novamente, representa novo desvio à matriz da ISO. Este desvio poderá ser muito relevante, na medida em que os tempos de consulta e aquisição deste tipo de soluções têm impacto no calendário de produção de informação. Dependendo da solução ou conjunto de soluções tecnológicas adotadas, a complexidade poderá aumentar.

Na prática, este aspeto acabou por ser mitigado através da ativação de uma CDE não oficial do TDC, partilhada temporariamente apenas pela entidade fornecedora, solução que viria a ser substituída pela CDE oficial, detida pelo TDC, e que estará ativa ao longo do ciclo de desenvolvimento e operação do ativo. Enquanto a CDE temporária foi utilizada, toda a equipa de desenvolvimento iniciou a colaboração deste modo, não existindo, todavia, partilhas de informação oficiais entre entidade requerente e equipa de desenvolvimento. Tratou-se de um compromisso possível para evitar colocar em causa prazos de entrega contratuais, tornando claro que implementação de uma CDE não poderá ser vista como um pormenor, devendo sempre constituir-se previamente ao compromisso com quaisquer entidades fornecedoras.

A CDE oficial foi implementada no ambiente colaborativo da Autodesk Construction Cloud, estando em uso o módulo DOCS. Os estados “WIP”, “SHARED” e “PUBLISHED” organizam as trocas de informação, não estando autorizado outra forma de partilha de dados.

Uma questão que tem sofrido resistência por parte da equipa de desenvolvimento é a indicação da revisão como metadado associado ao bloco de informação, e não como parte integrante da nomenclatura do mesmo. Foi ensaiada esta abordagem no espaço dedicado aos entregáveis, mas sem sucesso, uma vez que contraria os processos de produção e controlo de qualidade dos projetistas relativos a ficheiros emitidos fora do contexto da CDE. A este respeito, foi igualmente identificado como lacuna a não existência de um processo automatizado de extrair blocos de informação da CDE de modo que estes, uma vez retirados, adquiram sufixos baseados nos metadados existentes na CDE. Promover o desenvolvimento de uma aplicação dedicada a este tipo de ações poderá contribuir favoravelmente para a adoção da EN ISO 19650.

Além dos projetistas e do LNEC, a entidade requerente utiliza igualmente a CDE para acompanhamento e análise do projeto. Esta atividade é sobretudo apoiada pela visualização dos próprios modelos, o que incrementa a comunicação entre projeto e dono de obra: a valência tridimensional do BIM permite uma apresentação mais clara das soluções, não só através de renderização de imagens a partir do modelo, como também através de visitas virtuais ao espaço, transpondo a barreira de capacidade de espacialização que muitas vezes permeia entre equipa de projeto e cliente. Esta faculdade revela-se importante, no contexto do conceito de preservação, que

nos introduz num mundo de criação do não-eu, onde o autor do projeto de reabilitação procura entender e interpretar, ainda que à luz das novas exigências funcionais, os princípios figurativos definidos pelo autor do projeto original, com o objetivo de assegurar a integridade da obra.

Uma nova “metodologia de superfície” que permite entender, documentar e intervir em objetos que não estão enclausurados em fronteiras físicas, mas sim expandidos num espectro de qualidades tangíveis e intangíveis. [10]

2.5. Condições existentes

Tratando-se de uma obra de reabilitação, o tema das condições existentes e o respetivo registo que serve de base ao desenvolvimento dos trabalhos são questões incontornáveis. É importante referir que o contrato em execução previa que a equipa fornecedora procedesse ao levantamento topográfico e cadastral necessário para elaborar o projeto e o modelo BIM do edifício. Uma vez que a mobilização destes serviços considerou o emprego de tecnologia “laser scanning” e que esta apenas é útil no caso em que um edifício esteja desimpedido de objetos e pessoas, daí resultaram duas ramificações: i) o tempo de execução dos trabalhos de campo foi dilatado, impactando nos prazos de desenvolvimento de projeto; ii) coube aos projetistas de arquitetura e estabilidade modelar uma pré existência, o que acarreta sempre uma margem de risco pelos aspetos que não são possíveis de conhecer nem verificar, mas apenas assumir. Cabe enfatizar que no caso de intervenção em estruturas existentes, a criação de modelos de informação pode ser complexa e onerosa, considerando o desafio da captura de dados da construção e o alto esforço de modelação associado. Isto é tão mais válido quanto se pretender trabalhar com modelos semanticamente confiáveis [11], [12].

Mesmo com o empenho e mérito patente durante o esforço de modelação das condições existentes, trabalho que suportou as decisões de projeto subsequentes, considera-se que uma contratação específica para este serviço, a outra entidade fornecedora e num tempo anterior ao projeto, defenderá melhor os interesses de todas as partes.

A EN ISO19650 procura garantir que durante o desenvolvimento dos ativos são criadas as condições comerciais e colaborativas mais adequadas à prestação das entidades fornecedoras. Isto significa que a produção de informação deve ocorrer de modo eficiente, evitando atividades redundantes e geradoras de desperdício de recursos e tempo [9]. Para tal, defende-se que a execução de um modelo de informação de condições existentes e um modelo de informação de projeto deverão corresponder a responsabilidades e equipas diferentes.

Após os trabalhos de campo, a nuvem de pontos foi integrada no modelo permitindo que este adquirisse coordenadas geodésicas a partir do sistema PT-TM06/ETRS89. A análise aprofundada da nuvem de pontos e os trabalhos de modelação correspondentemente permitiram reunir um conjunto alargado de achados, tanto pela inclusão do ficheiro .rcp no interior do modelo, como pela utilização da aplicação Truview para

visita virtual ao edifício a partir da nuvem de pontos. É disso exemplo a assunção de que existiram pilares de secção circular, quando as imagens revelaram afinal de que se tratava de um enchimento executado sobre secções retangulares, tal como se observa na Figura 1.



Figura 1
Imagem capturada pela nuvem de pontos a revelar dimensão real de pilar.

2.6. Desenvolvimento dos modelos de informação

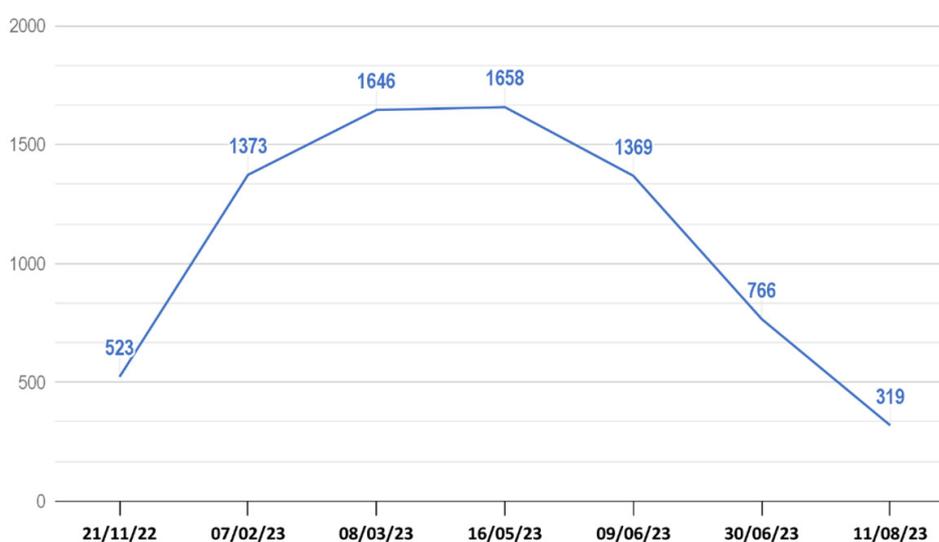
Semanalmente os modelos em formato nativo são partilhados por cada especialidade, sendo depois federados pelo gestor de informação em formato .nwd. O modelo federado é também ele partilhado na CDE, servindo de base para a condução das reuniões de projeto e reuniões e coordenação BIM. O controlo e gestão de conflitos de projeto é feito na própria CDE, verificando-se que o ritmo natural de projeto e a própria interação com entidades licenciadoras faz dos modelos um universo bastante dinâmico. Este dinamismo torna difícil, por vezes, manter níveis de coordenação elevados, o que leva a que a gestão de expectativas se torne num tema no seio da equipa de projeto. Os traçados de hidráulicas, por exemplo, acabam por exigir várias revisões ao longo do processo, num ritmo a que os autores de projeto não conhecem da prática tradicional, e que dificilmente se coaduna com as previsões de consumo de recursos habituais. Isto contradiz alguns estudos que apontam vantagens económicas na fase de projeto devidas ao uso da metodologia BIM [13]. Um fator que pode ajudar a explicar as métricas neste caso será decerto o facto de se tratar de um projeto de reabilitação. Cumulativamente, verifica-se que o desenvolvimento detalhado de modelos exige revisões demoradas sempre que alterações ocorrem no projeto, balanço que é difícil de atingir.

Dentro deste contexto, é assinalável o progresso conseguido pela equipa na resolução de conflitos de projeto, como se documenta na Figura 2. A dimensão analítica é

expressiva, mas não esconde, contudo, a grande dificuldade em reabilitar um edifício de acordo com as exigências de performance atuais, atendendo que as dimensões e espaço existentes são extremamente exíguos para receber o aparato de instalações regulamentar. É convicção da equipa que os trabalhos de coordenação conseguem, no essencial, melhorar largamente o nível de compatibilização do projeto, mas que o nível último de coordenação será já realizado pelas mãos do empreiteiro, como otimização ao trabalho de base.

Foram igualmente realizados estudos de análise solar para posicionamento dos painéis fotovoltaicos a instalar na cobertura, utilizando a simulação de luz solar no Revit a partir do modelo geolocalizado.

Figura 2
Evolução de colisões após agrupamento.



Sob o ponto de vista do controlo prévio municipal e submissão do projecto para consulta a entidades, foi identificada uma limitação técnica no modo como são representadas as cores convencionais. A Portaria n.º 113/2015, de 22 de Abril define as cores convencionais a utilizar nas peças desenhadas a submeter a controlo prévio municipal em operações urbanísticas que compreendam alterações ou demolições parciais, representando a preto os elementos a manter, relativamente ao antecedente existente no arquivo municipal, representando a amarelo os elementos a retirar (a demolir) e representando a vermelho os elementos a acrescentar (a construir), constituindo-se como regras para apresentação de elementos instrutórios em procedimentos previstos no RJUE [14].

Em contexto BIM, a utilização de cores na modelação para representação de alterações baseia-se no processo construtivo de demolir, manter ou construir. Cada objeto adquire, deste modo, a cor relativa a cada uma das ações. No entanto, a visão administrativa que avalia o projecto nas alterações que este propõe sobre o existente, considera, por exemplo, que uma janela que é desmontada e substituída por uma equivalente, não representa uma alteração. De igual modo, um revestimento ETICS

que seja aplicado numa parede exterior, não é também uma alteração de projeto. Todavia, ambos os exemplos são representados pela ferramenta de modelação a vermelho, por se tratarem, naturalmente, de elementos novos.

Com o objetivo de que as peças desenhadas fossem interpretadas do modo habitual, foi necessário um trabalho de reconciliação manual e sobreposição gráfica sobre as peças desenhadas. Este trabalho constitui um retrocesso que deverá ser evitado a todo o custo, pois destrói a eficiência de um processo construtivo transparente, sob o pretexto de dar resposta a um procedimento administrativo hoje desajustado.

Pensa-se que este aspecto será de ter em conta, sobretudo considerando os recentes desenvolvimentos legislativos que irão promover a integração do BIM nos processos de controlo prévio municipal, como é o caso da automatização da verificação do cumprimento dos planos aplicáveis, prevista na Portaria n.º 71-A/2024 [15].

4. Conclusão

A participação no processo do TDC, que se encontra atualmente numa fase de preparação da consulta de empreitada, permitiu perceber que as especificidades das obras de reabilitação exigem melhorias não só nos processos de contratação BIM como também nos mecanismos de controlo prévio municipal. Estas adaptações deverão ser céleres, uma vez que o tempo médio de desenvolvimento de um empreendimento, até ao início da sua exploração, é de 5 anos. Nesse cenário, decisões mal suportadas terão impactos de longo prazo. Para tal, a indústria deverá por um lado realizar um esforço de adaptação e atualização à EN ISO 19650. Por outro lado, o processo iterativo de produção de standards e/ou regulamentação deverá seguir o seu normal percurso, beneficiando dos contributos da própria indústria no sentido de acrescentar contexto e experiência, esforço em que se inscreve este artigo.

O BIM é uma metodologia que permite projetar melhor, construir melhor e explorar melhor os ativos edificados, tanto mais e melhor quanto maior for a complexidade do projeto. O projeto, por sua vez, deve focar-se na contribuição de cada edifício para a resposta aos grandes desafios do mundo contemporâneo, como sejam a adaptação das cidades às alterações climáticas ou a resposta cultural à temática da segurança.

Acontece, aliás como em todas as mudanças, que terá de haver investimento público na capacitação técnica para uso destas ferramentas de trabalho, e o tempo mostrará que o investimento facilitou a transparência, em favor do bem comum.

Referências

- [1] R. Volk, J. Stengel and F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs," *Automation in Construction*, March 2014.

- [2] R. C. Betim, M. J. Falcão Silva and F. F. S. Pinho, "Utilização de BIM na melhoria do desempenho energético em edifícios comerciais," in *4.º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING*, Braga, 2022.
- [3] M. L. Leonardi, D. V. Oliveira and M. Azenha, "A integração do BIM na reabilitação de «agregados» em alvenaria," in *4.º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING*, Braga, 2022.
- [4] N. Gualberto, J. Pedro Couto and M. Azenha, "IMPLEMENTAÇÃO BIM AO NÍVEL DO LICENCIAMENTO MUNICIPAL: VERIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DO RGEU," in *ptBIM 2020 – 3.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Porto, 2020.
- [5] L. Sanhudo, J. Poças Martins and N. M. M. Ramos, "Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo Scan-to-BIM," in *4.º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING*, Braga, 2022.
- [6] A. Aguiar Da Costa, B. Carvalho Matos, D. D. and I. Rodrigues, "Guia da Contratação BIM," Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2017.
- [7] D. Paiva, E. Kayelle Abreu, L. Oliveira, M. Sporkens and S. Leal Ferreira, "Requisitos normativos da ISO 19650 para o CDE – Análise de conformidade," in *4.º CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING*, Braga, 2022.
- [8] L. Luedy, P. Couto, M. João Falcão and J. Hormigo, "MODELAÇÃO BIM A PARTIR DOS REQUISITOS DE INFORMAÇÃO," in *ptBIM 2020 – 3.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Porto, 2020.
- [9] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-2 "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 assets, BSI Standards Limited, 2018.
- [10] E. F. L. T. A. Jorge Otero-Pailos, *Experimental Preservation*, Lars Müller Publishers, 2016.
- [11] M. A. Hossain and J. K. W. Yeoh, "BIM for Existing Buildings: Potential Opportunities and Barriers," in *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018.
- [12] j. Lopes, M. J. Falcão Silva, F. F. S. Pinho and P. Couto, "UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO APOIO À REABILITAÇÃO FUNCIONAL DE UM EDIFÍCIO," in *2.º Congresso Português de Building Information Modelling*, Lisboa, 2018.
- [13] M.-H. Shin, J.-H. Jung and H.-Y. Kim, "Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process," *Buildings*, MDPI, no. 12091476, 2022.
- [14] *Regime jurídico da urbanização e edificação – RJUE; Decreto-Lei n.º 555/99*, Presidência do Conselho de Ministros, Habitação e Coesão Territorial, 1999.

- [15] H. e. C. T. Presidência do Conselho de Ministros, *Portaria n.º 71-A/2024, de 27 de fevereiro*, Diário da República n.º 41/2024, 1.º Suplemento, Série I de 2024-02-27, pp. 2-24, 2024.
- [16] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-1 "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, BSI Standards Limited, 2018, p. 1.

Desenvolvimentos BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa: Comunicação, acompanhamento e controlo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.46>

**Tiago Andrade Gomes¹, Gonçalo Diniz Vieira¹,
Luís Ribeirinho², Ricardo Pontes Resende³,
António Hipólito⁴, Catarina Feio⁴,
Sebastien Roux⁵, Paulo Gordinho¹**

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 *Limsen Consulting, Lisboa*

Resumo

Desde a publicação –no PTBIM 2022 – de um artigo sobre os desafios da implementação do BIM no Plano Geral de Drenagem de Lisboa, registou-se uma notável evolução neste projeto. Com efeito, para além da conclusão do projeto e arranque da obra, com entrada em funcionamento da tuneladora no troço Campolide – Santa Apolónia, procedeu-se ao desenvolvimento, implementação e exploração de várias ferramentas e técnicas BIM alinhadas com as necessidades e desafios específicos da obra, que se descrevem em dois trabalhos apresentados neste congresso. Neste trabalho descrevem-se quatro aspetos. Em primeiro lugar, descreve-se o uso dos modelos BIM na comunicação com stakeholders internos e externos, particulares, empresariais e institucionais. Em segundo lugar, destaca-se o uso das capacidades de comunicação Autodesk Construction Cloud para a comunicação interna do projeto, através dos *Issues*, aumentados com desenvolvimentos internos. Depois, e seguindo a obra um contrato de Concepção-Construção, a produção das peças de projeto pelos vários projetistas é acompanhada pela produção dos modelos pelo Adjudicatário. Da sua análise conjunta, frequentemente resulta a introdução de melhorias e adaptações no projeto, continuando esta dinâmica no decorrer da obra, com a adaptação dos modelos e introdução da informação de obra relevante. O projeto contém, portanto, várias dezenas de modelos federados com mudanças frequentes, cuja qualidade tem de

ser acompanhada. A análise dos parâmetros destes modelos é feita através da integração com o PowerBI, que proporciona insights valiosos sobre os dados do projeto. Finalmente, a comparação entre fotografias 360° da obra e os modelos tornou-se possível através da integração com a plataforma *DroneDeploy*, permitindo detetar problemas em obra e obter imagem e vídeo de qualidade e de forma económica. Este artigo partilha, pois, os avanços e aprendizagens destes dois anos, sublinhando a relevância da evolução contínua e adaptabilidade na implementação do BIM em projetos de grande escala.

1. Introdução

Em alguns países da Europa, a implementação do BIM, iniciou-se nas obras públicas de infraestruturas, por imposição do Estado. É o caso, por exemplo, da Alemanha [1]. Nos últimos anos, a implementação da metodologia Building Information Modeling (BIM) em grandes projetos de infraestrutura tem-se tornado cada vez mais comum no cenário global da engenharia e construção. Esta tendência reflete não só uma evolução tecnológica, mas também uma mudança paradigmática na forma como projetos complexos são concebidos, planeados e executados. No nosso país, na ausência de um mandato, a implementação iniciou-se em projetistas e alguns – poucos – empreiteiros, e o BIM foi aplicado principalmente à construção nova de edifícios, tendo essa experiência passado para projetos de grande escala, na busca de maior eficiência, precisão e sustentabilidade.

As mudanças climáticas podem levar a um aumento na frequência e intensidade de eventos extremos, como chuvas torrenciais e inundações, fenômenos que sobrecarregam os sistemas de drenagem existentes e causam impactos significativos nas cidades. O outro lado da moeda é a previsível maior escassez de água na cidade, que pode ser mitigada pelo tratamento e reutilização de água de qualidade suficiente para rega e lavagem de ruas. O plano Geral de Drenagem de Lisboa é uma obra estratégica, com repercussões nas próximas décadas, que visa proteger Lisboa contra inundações e cheias associadas a fenômenos extremos de precipitação [2].

Foi tendo em conta a complexidade da obra e a sua longevidade que a Câmara Municipal de Lisboa impôs a utilização do BIM no concurso da empreitada de construção do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, que segue a modalidade Concepção-Construção. A aposta revelou-se acertada pois, apesar das dificuldades técnicas no desenvolvimento e na aplicação da metodologia a um projeto desta amplitude, duração e complexidade técnica, as vantagens sentidas já durante a obra são já mais que suficientes.

O presente artigo propõe-se a explorar e detalhar a implementação e os desenvolvimentos do BIM no contexto específico do Plano Geral de Drenagem de Lisboa (PGDL), um projeto ambicioso e de grande importância para a infraestrutura urbana da capital de Portugal. Através desta análise, pretendemos demonstrar como o BIM, mais do que um recurso tecnológico, representa uma abordagem integrada e colaborativa, crucial para o sucesso de empreendimentos de grande envergadura e complexidade técnica.

2. Enquadramento

O PGDL é um marco na inovação e sustentabilidade urbana, respondendo aos desafios das alterações climáticas e da urbanização acelerada da cidade de Lisboa. Este plano abrangente, que inclui a construção de dois grandes túneis de drenagem (um com cerca de 5 km e outro com aproximadamente 1 km, ambos com um diâmetro

interno de 5,5 m), visa não só mitigar o risco de inundações, mas também incorporar um sistema de distribuição de água reciclada. Complementando este esforço, será construída uma bacia antipoluição com um reservatório de 16.500 m³ e três poços de vórtice distribuídos na cidade [3]. O projeto, que se destaca como a maior obra lançada pelo município, conta com sete estaleiros ativos em pontos estratégicos de Lisboa, incluindo Campolide, Av. da Liberdade, Rua de Santa Marta, Av. Almirante Reis, Santa Apolónia, Chelas e Beato, reforçando o compromisso de Lisboa com a economia circular e a eficiência hídrica.

Desde o artigo apresentado no ptBIM 2022 (DESAFIOS BIM NA IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO GERAL DE DRENAGEM DE LISBOA), a implementação da metodologia BIM no PGDL tem evoluído significativamente. O BIM tem sido uma ferramenta crucial durante a fase de projeto e construção, melhorando a gestão da informação e a comunicação entre as entidades envolvidas, e é esperado que tenha um papel fundamental na fase de manutenção e gestão do sistema.

A execução dos túneis de drenagem ilustra o valor da abordagem BIM, onde a tecnologia de escavação mecanizada é complementada pelo uso intensivo do BIM, minimizando os impactos superficiais e garantindo a segurança durante a construção num ambiente urbano e denso como o de Lisboa.

Este trabalho descreve e reflete sobre quatro aplicações, e regista um avanço significativo em diversos aspetos:

- Na Comunicação e Divulgação: A utilização do BIM como ferramenta de comunicação com diversos *stakeholders* com e sem competências em construção tem-se aprimorado, facilitando o diálogo e a transparência do projeto.
- Na Comunicação entre os intervenientes internos : adaptou-se uma metodologia de acompanhamento da obra da plataforma Autodesk Construction Cloud, facilitando a comunicação entre a frente de obra, Projetistas, Dono de Obra e Fiscalização.
- Na Análise da Qualidade dos Modelos com recurso a ferramentas de *Business Intelligence*: A integração com o PowerBI tem enriquecido a análise da informação dos modelos.
- No acompanhamento de Obra, a utilização de ferramentas de *Reality-Capture*: A integração com o *DroneDeploy* (<https://www.dronedeploy.com/>) tem enriquecido a visualização comparativa entre os modelos BIM e a realidade, oferecendo perceções valiosas para a tomada de decisões e uma base documental objetiva.

O PGDL, aliado à metodologia BIM, estabelece Lisboa como um exemplo de cidade Inteligente, Resiliente e Sustentável. A utilização desta metodologia não só otimiza a fase de projeto e construção, mas também antevê uma gestão eficiente da infraestrutura a longo prazo, estabelecendo um modelo para futuras obras urbanas que combinam tecnologia avançada, planeamento detalhado e colaboração interdepartamental.

3. Comunicação e divulgação

A metodologia BIM tem provado ser uma ferramenta valiosa, não só para a comunicação técnica, mas também para o diálogo com um espectro mais amplo de *stakeholders* no PGDL.

Na comunicação do PGDL com o público, a metodologia BIM é enriquecida com a integração de ferramentas visuais inovadoras.

O software Enscape, um sistema avançado de renderização a partir de modelos BIM, que se destaca pela sua capacidade de representar o projeto de forma realista, melhora significativamente a compreensão do público sobre a infraestrutura planeada. Esta ferramenta tem sido essencial em reuniões com os munícipes, proporcionando uma apresentação clara e interativa do projeto, destacando seus impactos e benefícios para as comunidades.

A implementação estratégica de *QR codes* em pontos da obra representa uma inovação em acessibilidade informativa. Estes códigos, quando lidos pelos visitantes, revelam visualizações renderizadas pelo Enscape (exemplo na Figura 1), permitindo-lhes ver à escala real o design preciso da infraestrutura no contexto exato do local da construção num telemóvel, tablet, computador ou em realidade virtual. Esta estratégia interativa não só aumenta o envolvimento do público, mas também enriquece a sua perceção sobre como o projeto influenciará o ambiente urbano.



Figura 1

Exemplo de visualização 360° gerada com o Enscape no interior da obra. Visualização completa em <https://api2.enscape3d.com/v3/view/link/84785551-55ee-4529-b44e-6dbd3daf5b42/5e0b56d0-b0d3-4acf-b842-69cd725f36a7>.

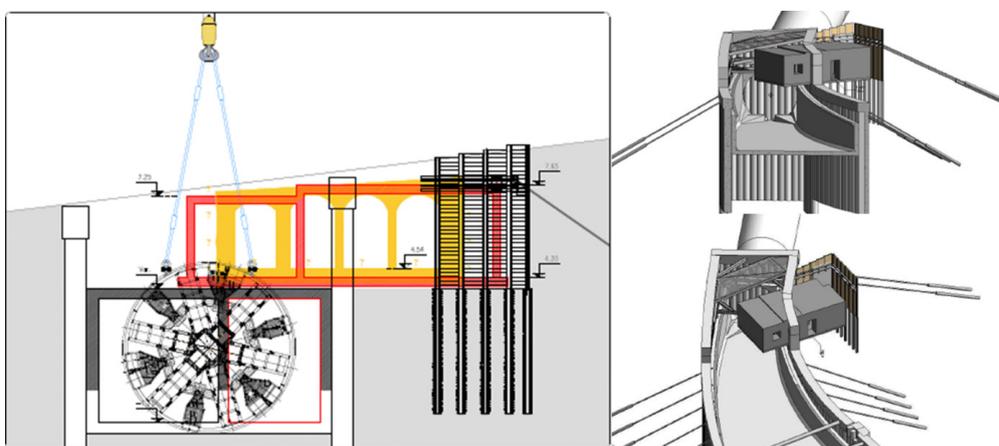
A interação com entidades técnicas tem sido um dos pontos fortes da aplicação da metodologia BIM no PGDL. Um exemplo ilustrativo dessa interação foi na Av. Almirante Reis, onde a apresentação de um modelo tridimensional à Direção Geral

do Património Cultural (DGPC) demonstrou a inviabilidade de preservar um coletor histórico do século XVII. Este tipo de visualização detalhada foi crucial para a decisão da gestão patrimonial.

Em Santa Apolónia, o uso do BIM facilitou a apresentação do conflito entre o túnel TMSA e a muralha Fernandina, assim como a colisão entre o túnel e a antiga esquadra da PSP (Figura 2), à DGPC. Estes modelos tridimensionais ofereceram uma compreensão clara das implicações patrimoniais e estruturais dos projetos propostos, como demonstrado nestes casos, bem como em diversos outros.

Além disso, a colaboração com a Empresa Municipal de Mobilidade e Estacionamento de Lisboa (EMEL) e a Direção Municipal de Mobilidade foi reforçada pela apresentação de modelos tridimensionais de todos os estaleiros. Isso facilitou a adaptação e a rápida aprovação dos mesmos, demonstrando a eficácia do BIM como uma ferramenta de comunicação técnica e de gestão de projeto.

Figura 2
Interseção do túnel
TMSA com o Bar da PSP,
em Sta Apolónia.



A utilização da metodologia BIM tem-se ainda revelado fundamental na comunicação do PGDL com o poder executivo, incluindo com a Vereação e com o Gabinete Presidencial. O BIM oferece um entendimento rápido e holístico dos projetos propostos, permitindo que os decisores políticos tenham uma visão abrangente e detalhada. Esta abordagem resulta em decisões mais rápidas, informadas e eficazes, assegurando que as escolhas feitas estejam alinhadas com os melhores interesses da cidade e dos seus cidadãos.

4. Acompanhamento BIM em obra

Para a gestão eficaz dos Pedidos de Esclarecimento de Projeto (PEP) e Pedidos de Alteração de Projeto (PAP) em obra, foi adotada uma metodologia inovadora usando a funcionalidade *Issues* do Autodesk Construction Cloud (ACC) DOCS, o *Common Data Environment* (CDE) adotado no projeto. Esta abordagem permitiu que o CDE assumisse um papel ainda mais ativo no projeto, indo além de uma plataforma de gestão e versionamento de modelos e documentos.

Para além da unificação de plataformas, facilidade de comunicação e controlo do estado de cada pedido, com os contributos de cada interveniente, os pedidos podem referenciar diretamente os desenhos, modelos ou documentos relevantes, assim como outras informações, desenhos ou esquemas adicionados pelos intervenientes.

Finalmente, a funcionalidade *Insight* permite gerar relatórios dos Pedidos, filtrando-os segundo parâmetros como Tipo, Estado ou Criador. A partir destes relatórios é automaticamente gerado, para cada pedido, um documento em formato PDF. No entanto, surgiram desafios de compatibilidade com o sistema de qualidade da obra, uma vez que os relatórios gerados automaticamente pelo CDE não estavam alinhados com o formato padronizado de relatórios. Para resolver esta questão, recorreu-se à ferramenta "conector de dados" da plataforma para extrair todos os dados relacionados com o projeto em formato CSV, incluindo a informação dos *Issues*. Estes dados foram tratados com recurso ao Power Query e foram depois gerados documentos em formato PDF, usando a funcionalidade *Mail Merge* do Microsoft Word, criando relatórios no formato predefinido pelo sistema de qualidade e garantindo a conformidade e a satisfação da Política de Qualidade da Obra.

Esta capacidade de conjugar ferramentas para construir fluxos de trabalho que usam as melhores características de cada software ou plataforma emerge da experiência e riqueza da equipa e da adaptabilidade dos responsáveis e é uma das características que se realçam neste projeto.

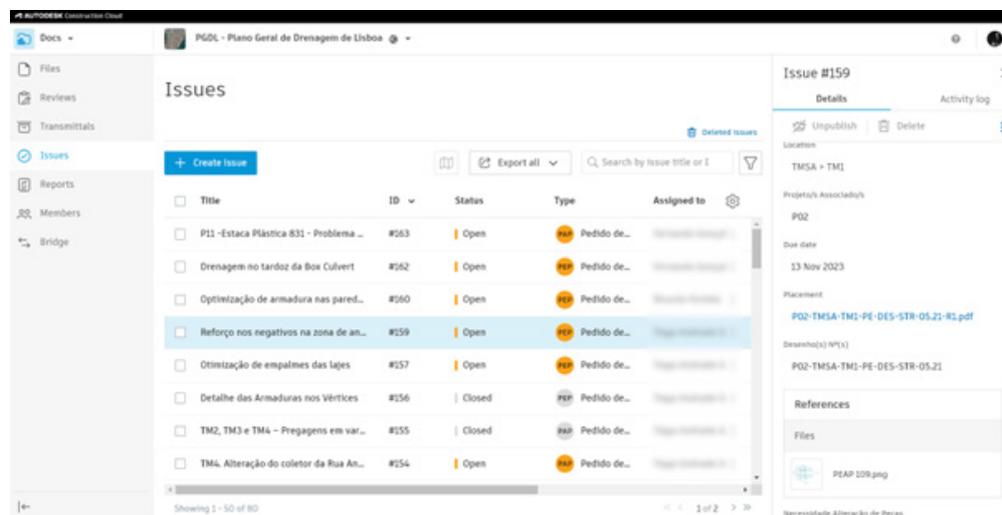


Figura 3
Funcionalidade *Issues*
do Autodesk
Construction Cloud.

5. Análise da qualidade dos modelos BIM

As obras de infraestrutura assumem geralmente grandes dimensões e esta não é exceção. Os dois túneis e as diferentes obras associadas estão divididos em 45 modelos. Cada um destes modelos tem naturalmente várias entidades com vários atributos cada, o que se traduz numa quantidade massiva de dados que terá de ser gerida. Entre janeiro 2022 e dezembro 2023 foram processadas mais de 300.000 instâncias.

A única forma de assegurar que será possível trabalhar com esses dados e extrair alguma informação é definir regras para a gestão dos modelos e, dentro dos modelos, para a modelação geométrica e para a gestão da informação. Essas regras foram definidas no BEP por todas as entidades. De seguida é necessário garantir que essas regras são cumpridas, cabendo esse papel à Fiscalização. Como o número de objetos é elevado, optou-se por recorrer a ferramentas de *Business Intelligence*, como a linguagem DAX – Data Analysis Expressions [4]. Esta linguagem é usada no Power BI e permite cálculos avançados e consultas em modelos de dados tabulares. É criado um relatório com uma página para cada regra verificável (Figura 4). Nesse relatório apresentam-se apenas as não-conformidades, sendo possível filtrar por modelo, tipo de erro ou categoria Revit. Alguns exemplos dessas regras são:

- Nomenclatura de objetos;
- Atribuição de classificação;
- Consistência da classificação com a categoria do Revit;
- Atribuição de materiais;
- Preenchimento dos parâmetros obrigatórios.

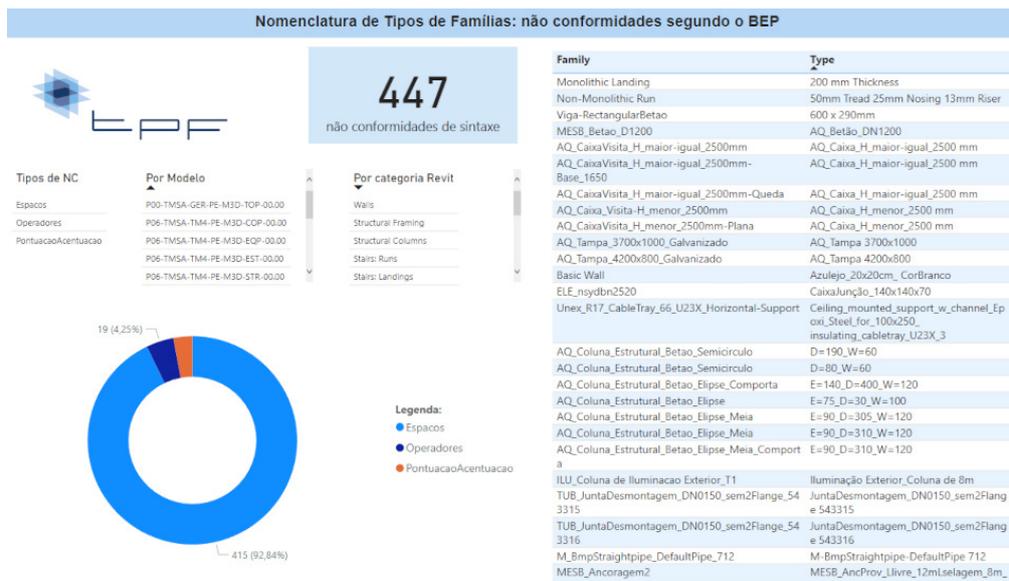


Figura 4 Relatório em PowerBI para análise de não-conformidades dos modelos.

Importa salientar que esta ferramenta é usada em complemento com outras ferramentas e técnicas, uma vez que é muito eficiente a indicar se um parâmetro está atribuído, ou não, mas tem dificuldade em avaliar se a atribuição está correta. Ainda assim, dividimos as não-conformidades em automáticas, que resultam da aplicação direta de regras escritas com a linguagem DAX, e semiautomáticas, que dependem da análise do utilizador para comparar informação redundante e que deve ser consistente. Note-se que não se colocou para já a hipótese de utilizar o standard IDS – Information Delivery Specification da buildingSmart [5], para fazer este tipo de verificações, uma vez que as trocas de informação ainda são em formatos proprietários, apesar de estar prevista a entrega de formatos abertos no final do projeto.

A recolha da informação dos modelos é realizada nos modelos submetidos, e não nos partilhados, uma vez que esse processo tem alguns passos, que, à data, são manuais. Os diferentes modelos que se pretendem analisar são ligados (*linked*) a um *template* de Revit vazio com uma tabela multicategoria predefinida que é usada para exportar os dados para CSV, sendo este o formato ligado ao PowerBI. Existem no mercado outras soluções para ligar a informação dos modelos ao PowerBI, como o Speckle, ou o Vcad, cuja exploração já se iniciou, mas que ainda não passaram para a produção. No caso desta obra, em que a informação em análise é apenas alfanumérica, não antecipamos que haja grandes mais valias nestas alternativas, uma vez que a estrutura dos dados é mais complexa e requer maior manipulação, quando comparada com o CSV da solução adotada.

Este relatório é partilhado com todos os intervenientes neste processo, sendo consensual que esta ferramenta contribuiu para a obtenção de melhores modelos. Não só permite comunicar de forma mais eficiente a extensa lista de não-conformidades, expectável em projetos desta dimensão em fases preliminares, mas em particular no caso da partilha com o Consórcio Projetista-Construtor permitiu ainda reduzir o número de iterações até à obtenção de modelos conformes.

6. Captura da realidade

Para além da análise da qualidade dos modelos BIM, está ainda no âmbito da Fiscalização o registo fotográfico. Também aqui se optou por tirar partido de novas tecnologias, nomeadamente de câmaras 360°. Estas câmaras permitem gravar vídeos que depois de processados na plataforma DroneDeploy se transformam em percursos com seqüências de fotos 360° georreferenciados e associados à data da captura.

Esta forma de captura da realidade é muito mais eficiente do que a captura de fotografias tradicionais, uma vez que é muito mais rápida na aquisição e na consulta.

Para além disso, o DroneDeploy permite ainda de forma expedita a comparação lado-a-lado de fotos obtidas em diferentes datas (Figura 5) e a comparação com o modelo BIM (Figura 6).

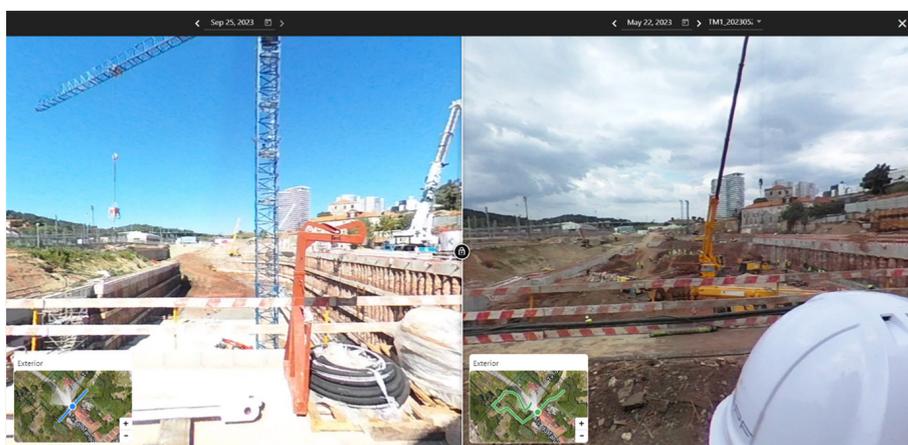
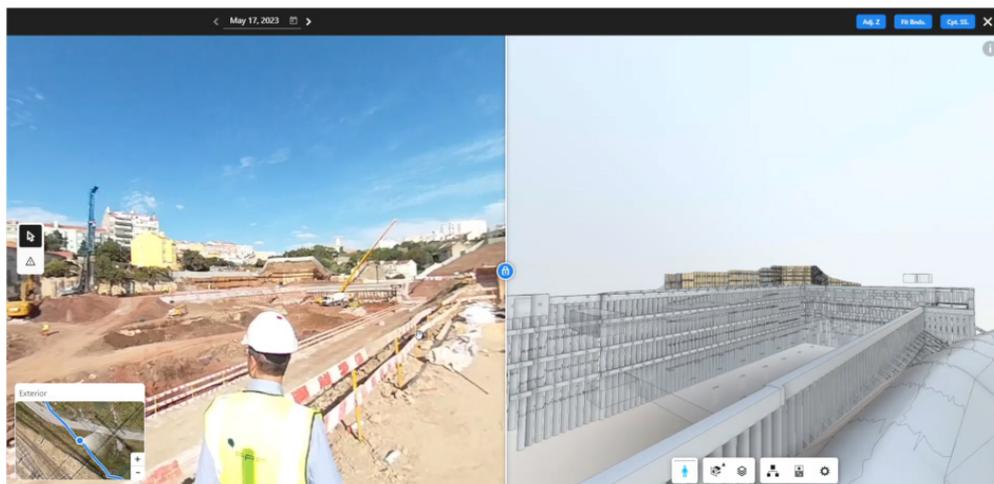


Figura 5
Comparação de duas fotografias 360° obtidas em Setembro (esq.) e Maio (dir.) de 2023.

Figura 6

Comparação de uma fotografia 360° com o modelo BIM no mesmo local.



O DroneDeploy permite ainda criar *issues* diretamente nas fotografias 360°. Esta funcionalidade não está à data deste artigo implementada em obra, mas acreditamos que poderá facilitar a comunicação entre os diferentes atores.

Ainda no âmbito da captura da realidade, foram instaladas duas câmaras fixas que tiram uma fotografia a cada hora, que permitirão gerar um *timelapse* da execução da obra. Essas câmaras permitem acesso remoto, o que facilita a aquisição das fotos para arquivo e processamento (Figura 7).

Figura 7

Vista das câmaras de *timelapse*.



7. Conclusões

Este artigo reflete a evolução significativa do Plano Geral de Drenagem de Lisboa, destacando como a metodologia BIM transformou a comunicação, o acompanhamento e o controlo do projeto. A integração de ferramentas como o Enscape e QR codes melhorou a interação com o público e os *stakeholders*, tornando a informação mais acessível e compreensível. A utilização inovadora do Autodesk Construction Cloud Docs para a gestão de pedidos de esclarecimento e alterações reflete a eficiência e a organização aprimoradas no acompanhamento de obra. A análise dos modelos BIM através do PowerBI e do DroneDeploy, juntamente com o uso de câmaras 360° para a captura da realidade, elevou o padrão de qualidade e precisão. Este artigo demonstra claramente que a adoção do BIM no PGDL não é apenas uma melhoria

técnica, mas uma revolução na forma como os grandes projetos de infraestrutura são geridos, comunicados e controlados, estabelecendo Lisboa como líder em inovação urbana e sustentabilidade.

8. Referências

- [1] BIM-Monitor 2022/23: is Germany ready for digitization in construction? <https://www.dreso.com/de/en/news/details/bim-monitor-2022-23-is-germany-ready-for-digitization-in-construction>. Consultado em 2024/02/12
- [2] Plano Geral de Drenagem de Lisboa 2016-2030. https://planodrenagem.lisboa.pt/fileadmin/pgdl/_ficheiros/PlanoGeralDrenagem_2016_2030.pdf. Consultado em 2024/02/12
- [3] Matos, J. S., Monteiro, A., Santos, A., Ferreira, F., Guimarães, J., Leboeuf, Y., Gama, C. (Julho de 2019). OBRAS DE DESVIO, INTERCEÇÃO E DE DESCARGA DOS TÚNEIS DE MONSANTO – STA. APOLÓNIA E DE CHELAS-BEATO.
- [4] Microsoft. Guia de Introdução: Noções Básicas sobre a linguagem DAX em 30 Minutos. Disponível em: <https://support.microsoft.com/pt-pt/office/guia-de-introdu%C3%A7%C3%A3o-no%C3%A7%C3%B5es-b%C3%A1sicas-sobre-a-linguagem-dax-em-30-minutos-51744643-c2a5-436a-bdf6-c895762bec1a> . Acesso em: 27 dez. 2023.
- [5] buildingSMART Technical. Information Delivery Specification IDS. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>. Acesso em: 27 dez. 2023.

Projeto da sede da Fidelidade: Ciclo de vida BIM do programa preliminar à obra

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.47>

**António Hipólito¹, Catarina Feio¹,
Afonso Silva², Filipe Lima³, Sébastien Roux³**

¹ *Mota-Engil Global, Porto*

² *Mota-Engil Engenharia e Construção SA, Porto*

³ *Limsen, Lisboa*

Resumo

O projeto do edifício que alojará a futura sede da Fidelidade faz parte de um dos maiores desenvolvimentos imobiliários da cidade de Lisboa, conhecido como Operação Integrada de Entrecampos e situado nos terrenos da antiga Feira Popular. O edifício sede encontra-se em construção num terreno vizinho, na Avenida Álvaro Pais, e conta com uma área de 70.000 m², sendo que a Operação irá construir ao todo 340.000 m². Muito cedo, todos os decisores (Dono de Obra, Promotor, Gestão de Projeto) identificaram o BIM como a metodologia adequada para um projeto com esta dimensão e complexidade. Apesar dos requisitos específicos só terem sido definidos durante a fase de Estudo Prévio, todos os contratos celebrados com os projetistas já incorporavam cláusulas BIM com grande abrangência. No início do Estudo Prévio, foi identificada a necessidade de contratar um consultor para prestar apoio ao Dono de Obra e à sua equipa de gestão. Para tal, foi selecionada uma equipa responsável pela Gestão de Informação, *Common Data Environment* (CDE) e reporte sobre os modelos e processo BIM. Juntamente com a Gestão de Projeto e as equipas projetistas foram identificados objetivos BIM e construído um *BIM Execution Plan*. Através de um esforço conjunto de 3 anos de toda a equipa foi possível identificar e corrigir acima de 1000 incompatibilidades durante todas as fases de projeto, até ao projeto de execução. Todo este processo permitiu avançar com segurança acrescida para a consulta de empreitada e arranque de obra. Este artigo partilha o processo de implementação BIM num dos maiores projetos imobiliários da cidade de Lisboa, desde a sua fase inicial até à primeira experiência em obra.

1. Introdução

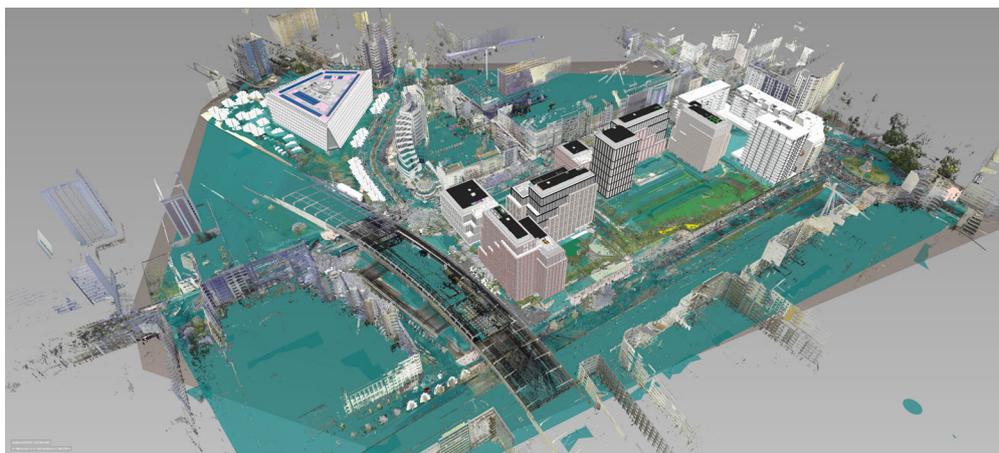
O projeto da futura sede da Fidelidade faz parte de um dos maiores desenvolvimentos imobiliários da cidade de Lisboa, conhecido como Operação Integrada de Entrecampos e situado nos terrenos da antiga Feira Popular. O edifício sede encontra-se em construção num terreno vizinho, na Rua Álvaro Pais, e conta com uma área de 70.000 m², sendo que a Operação irá construir ao todo 340.000 m².

2. Projeto

Muito cedo, todos os decisores (Dono de Obra, Promotor, Gestão de Projeto) identificaram o BIM como a metodologia adequada para um projeto com esta dimensão e complexidade. Apesar dos requisitos específicos só terem sido definidos durante a fase de Estudo Prévio, todos os contratos celebrados com os projetistas já incorporavam cláusulas BIM com grande abrangência.

Figura 1

A operação integrada de Entrecampos.



2.1. Dados do projeto

Foi lançado um concurso internacional por convite ao qual deviam concorrer em consórcio equipas de arquitetura internacionais com equipas locais. O concurso foi ganho pela Gensler em conjunto com a Promontório. As equipas de especialidades são na sua maioria portuguesas.

O projeto conta com cerca de 70.000 m² divididos em duas empreitadas diferentes:

- *Shell & Core*, composto pela estrutura, fachada, núcleos, *lobbies*
- *Fit out*, composto pelas zonas de escritórios e *amenities*

2.2. *BIM Execution Plan*

O *BIM Execution Plan* (BEP) foi desenvolvido no Plannerly, uma plataforma colaborativa online. A maioria dos BEP são compostos por vários documentos em formatos PDF, DOC e XLS que circulam por email dentro da equipa. Estes documentos são geralmente anotados e os comentários entre as diversas equipas não tem visibilidade. O Plannerly permite anotar o BEP online e os comentários ficam registados na plataforma e são públicos para todos. Este formato permitiu que todos os intervenientes participassem na elaboração deste documento primordial para o desenvolvimento do Projeto.

2.3. Usos BIM

Desde as primeiras interações com o Dono de Obra, foram discutidos os usos BIM. Optou-se por escolher apenas alguns usos BIM. É por vezes tentador escolher todas as possibilidades que os modelos conseguem oferecer. No entanto, qualquer uma dessas escolhas pode envolver uma sobrecarga para as equipas que trabalham geralmente com prazos muito curtos. A opção focou-se em escolher poucos usos BIM, mas desenvolvê-los com qualidade. A tabela abaixo apresenta os objetivos para uso dos modelos neste projeto.

Tabela 1: Usos BIM

Uso BIM	Descrição
Desenvolvimento de peças desenhadas	Utilização de software 3D para criação de modelos BIM que traduzam os requisitos da obra e geração de peças desenhadas a partir dos modelos
Revisão e Validação de Projeto pelo Dono de Obra	Processo de revisão de modelos 3D para validação de diferentes dimensões da obra
Coordenação 3D	Utilização de software de revisão BIM para identificação de conflitos físicos entre especialidades; apesar dos modelos serem entregues ao empreiteiro com o maior nível de coordenação possível, este deverá rever os modelos de forma crítica perante as soluções construtivas propostas, a sua exequibilidade, e ausência de colisões para evitar atrasos e aumentar o Retorno de Investimento do Dono de Obra
Medições e Controlo de Custo	Utilização dos modelos para garantir medições rigorosas, fiáveis e atualizáveis automaticamente, às quais se associa custos
Telas Finais/ Modelo "As-Built"	Utilização de modelos atualizados face a alterações executadas em obra, usando-os para produzir documentos finais de registo a serem fornecidos ao Dono de Obra ou a entidades licenciadoras

2.4. *Common Data Environment* (CDE)

Em paralelo com o desenvolvimento do BEP, foi escolhida a solução para o CDE. A escolha acabou por recair sobre o BIM 360 (atual Autodesk Construction Cloud). Esta escolha foi motivada principalmente pela possibilidade de várias equipas conseguirem colaborar em tempo real em ficheiros de Revit numa única plataforma e pelo facto de muitas equipas conseguirem trazer as suas próprias licenças que já estão incluídas no seu pacote de software habitual. Desta forma, com 100 licenças adquiridas pelo Dono de Obra, a plataforma alberga neste momento 243 utilizadores.

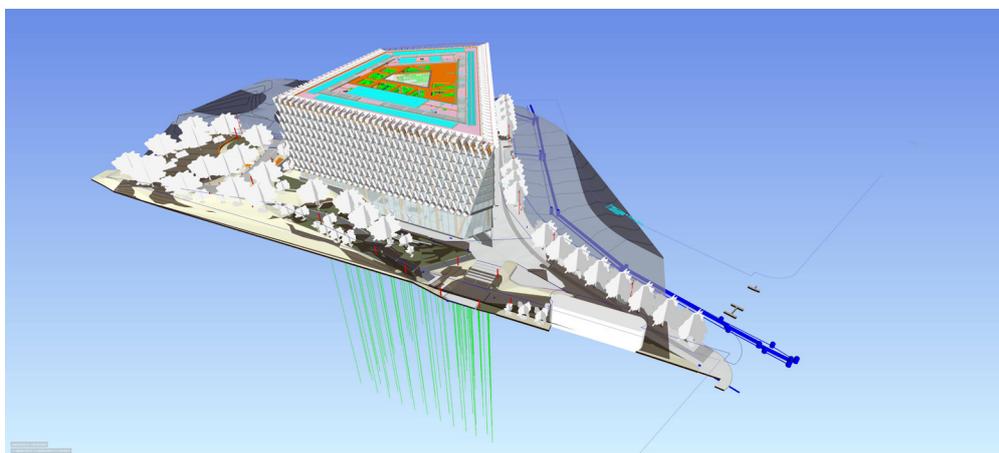
As opções de visualização, versionamento e de anotação também foram muito importantes na sua escolha. Esta plataforma consegue ler todos os principais formatos utilizados na indústria e desta forma qualquer interveniente consegue visualizar os modelos sem dificuldade.

2.5. Sistema de coordenadas

A Operação Integrada de Entrecampos conta neste momento 65 modelos, dos quais 22 são do edifício sede da Fidelidade. Para uma gestão eficiente deste número de modelos, o sistema de coordenadas é de grande importância. Para tal foi criado um sistema comum, publicado no BEP, que todas as equipas devem adquirir no início do projeto. A equipa de *BIM Management* está encarregue de apoiar as equipas nesta etapa e de verificar que todos os modelos estão devidamente georreferenciados durante todo o projeto (ver figura 2).

Figura 2

Os 22 modelos georreferenciados da sede da Fidelidade.



2.6. Coordenação BIM

Durante toda a fase de projeto, desde o Estudo Prévio, até ao Projeto de Execução, foram promovidas reuniões de coordenação BIM quinzenais com as equipas para assegurar uma compatibilização de especialidades eficaz. A equipa de BIM Management identificava visualmente e com recurso a *Clash Detection* os principais problemas dos modelos em cada fase e comunicava os problemas nas reuniões. Após estas reuniões os problemas eram transformados em *Issues* no BIM 360 e comunicados desta forma às diversas equipas responsáveis pela sua resolução, conforme ilustrado na figura 3. Estes problemas eram identificados de forma faseada e por especialidade, por forma a não sobrecarregar as equipas.

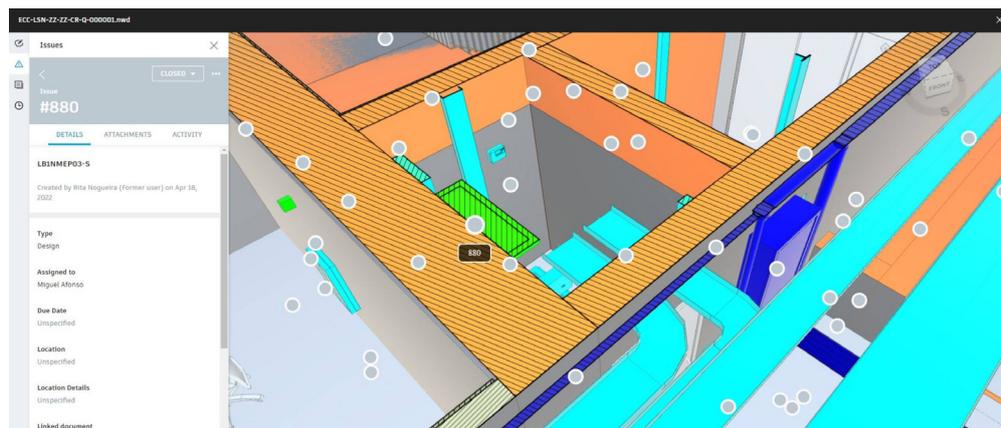


Figura 3
Comunicação de um problema à equipa de Estabilidade.

No final do Projeto de Execução, foram ainda identificadas 500 questões por resolver. Durante a consulta de empreitada, foi criado um cronograma por especialidade para resolver estes problemas, já que se todas as especialidades resolvessem os problemas ao mesmo tempo, iriam provavelmente deslocar a colisão para outro local. Durante oito semanas, de forma semanal, as equipas reuniram para resolver estas questões.

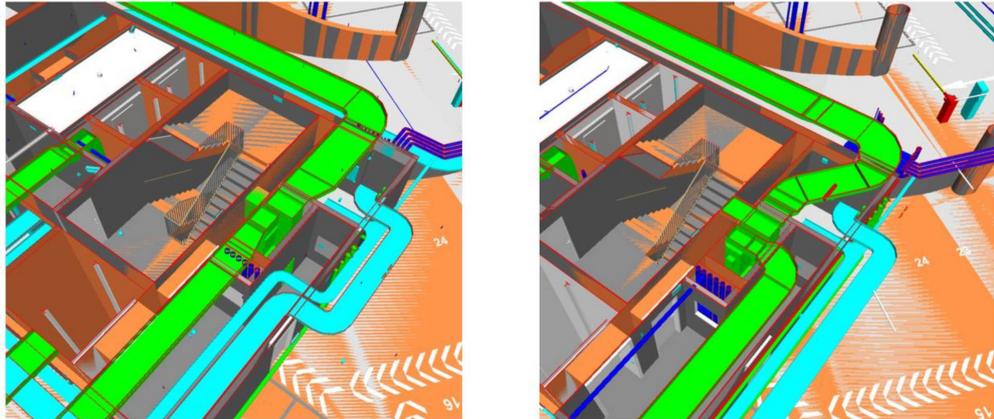
Após este período de coordenação intenso, foram analisadas e classificadas por ordem de gravidade as 500 situações e foi apurada uma poupança potencial pela resolução numa fase inicial de muitas questões que poderiam causar atrasos em obra. Para cada situação foi estimado um tempo médio de resolução em obra e o tempo total foi multiplicado pelo custo do estaleiro por dia, chegando a uma poupança estimada, e isto de forma conservadora, de cerca de 4 milhões de euros, conforme figura 4.

	Number of analyzed clashes	Estimated resolution time per clash type (days)	Total estimated resolution time (days)	Potential impact on construction schedule (Total estimated resolution time / simultaneity factor) - (days)	Estimated Saving (Potential impact on construction schedule x Construction Site Cost per day)
Clash Type 0	129	0	0	0	€ 0.00
Clash Type 1	228	2	456	91.2	€ 1,185,600.00
Clash Type 2	71	5	355	71	€ 923,000.00
Clash Type 3	85	10	850	170	€ 2,210,000.00
Total	513		1661	332.2	€ 4,318,600.00
Construction Site Cost / day	13000	Cost of the Construction Site per day			
Simultaneity Factor	5	Many of the issues detected on this document may be resolved simultaneously; The estimated resolution time will be divided by the simultaneity factor			

Figura 4
Cálculo de poupança estimada.

Foi igualmente emitido um relatório com o antes e o depois destas colisões (ver figura 5).

Figura 5
Resolução de colisões
antes e depois.



2.7. Medições e controlo de custo

Um dos principais usos BIM perseguido durante todo o projeto, foi o controlo de custo e as medições a partir dos modelos. Para tal, o primeiro passo foi decidir com toda a equipa o WBS que seria utilizado por todos. A escolha recaiu sobre o Unifomat por se tratar de um sistema internacional que poderia ser comum a toda a equipa, e por ser, dentro dos sistemas de classificação, um dos mais simples e que melhor se adequa a servir de WBS. Durante todo o projeto os modelos serviram para apoiar a extração de quantidades, tanto do lado dos projetistas, como do lado do *Cost Manager*. No BEP foi incluída uma secção de boas práticas para obter quantidades a partir de modelos, e foi combinada uma nomenclatura comum com as equipas para ligar quantidades a elementos de modelos.

Para ajudar as equipas de gestão de projeto e de fiscalização na identificação das quantidades durante a fase de consulta de empreitada, foi desenvolvida uma solução à medida que liga visualmente as medições aos modelos. Esta solução permite ver nos modelos publicados as quantidades dos Mapas de Quantidades (ver figura 6).

Figura 6
Ferramenta de
verificação das
medições.

Artº	Designação dos Trabalhos	Item (BIM)	Un.	Quant.
C1010.10.11	Partição de gesso laminado 65...	L1A	m²	1348.84
C1010.10.12	Partição de gesso laminado 65...	L1A/1R	m²	2781.76
C1010.10.13	Partição de gesso laminado hi...	L1A/H	m²	314.31
C1010.10.14	Partição de alvenaria de betão...	B1A/L1D/1R	m²	130.07
C1010.10.15	Partição de gesso laminado 16...	L1B/1R	m²	40.06
C1010.10.16	Partição de gesso laminado 85...	L1C	m²	10.06
C1010.10.17	Partição de gesso laminado 85...	L1C/H	m²	14.97
C1010.10.18	Partição de gesso laminado li...	P2A	m²	2928.28
C1010.10.19	Partição de gesso laminado li...	P2A/1R	m²	906.77
C1010.10.20	Partição de gesso laminado li...	P2A/2R	m²	144.01
C1010.10.21	Partição de gesso laminado h...	P2A/H	m²	167.74
C1010.10.22	Partição de gesso laminado li...	P2B	m²	94.48
C1010.10.23	Partição de gesso laminado li...	B1A/L1D	m²	45.45
C1010.10.24	Partição de gesso laminado li...	P2C	m²	1462.35
C1010.10.26	Partição de gesso laminado li...	D5/1D	m²	407.44

2.8. Consulta de empreitada

Para a consulta de Empreitada, foram disponibilizadas as peças de concurso habituais (peças escritas e desenhadas), assim como modelos .ifc para complementar os documentos de análise dos empreiteiros e para servir de apoio à medição e orçamentação. Para além do contrato que incluía o uso do BIM como obrigatório, foi produzido um documento anexo, os *Exchange Information Requirements* (EIR) [1] [2] que definia os objetivos BIM e as obrigações contratuais relativas a trocas de informação a que tinha de responder o empreiteiro que ganhasse o concurso. As medições do projeto transpunham igualmente estes requisitos em artigos para os quais os concorrentes tinham de dar preço. Em resposta ao EIR, cada um dos concorrentes tinha de produzir um BEP pré-contrato que serviu para analisar a resposta ao EIR.

3. Obra

O presente capítulo propõe-se a explorar e detalhar a metodologia BIM adotada em fase de obra, bem como o modelo e organização do trabalho desenvolvido por cada equipa no âmbito da preparação de obra em regime *Worksharing* – trabalho colaborativo em tempo real na cloud (no que refere ao EIR definido no BEP e às mais valias decorrentes da implementação do BIM no contexto específico desta empreitada). O BIM, mais do que um recurso tecnológico, representa uma abordagem integrada e colaborativa, crucial para o sucesso de empreendimentos de grande envergadura e complexidade técnica, baseado na colaboração ativa entre todas as equipas e intervenientes.

3.1. Organização de pastas do empreiteiro

Após a consignação desta obra, foram cedidos ao empreiteiro os modelos RVT do projeto *Shell & Core*, os quais, em complemento às restantes peças escritas e desenhadas 2D, definiram o Projeto “Bom para Execução”.

Nessa fase preliminar da obra, e estando os modelos do lado do Empreiteiro, determinou-se fundamental criar uma organização interna de ficheiros na CDE que permitisse uma rápida e eficiente gestão do trabalho multidisciplinar entre cada equipa executante. Para o efeito, foram criadas 3 pastas “WIP” (*Work In Progress*) específicas para cada subempreiteiro, subdividindo-se assim os modelos de acordo com os tipos de trabalho e subempreitadas definidas para esta obra (ver figura 7):

- MEE – “01-WIP-Mota Engil”: Construção Civil
- ELM – “01-WIP-Mota Engil Eletromecânica”: Elétricas e Mecânicas
- LZM – “01-WIP-Luzimeca”: Hidráulicas e Geotermia

Figura 7

Organização das pastas
WIP.



A estrutura de pastas implementada permitiu validar a propriedade de cada modelo, estabelecendo facilmente as capacidades de edição de cada equipa; e permitiu também definir os pressupostos base para um regime de trabalho colaborativo, onde cada modelo se encontra “linkado” aos restantes modelos do projeto, podendo assim cada interveniente tirar partido do regime *worksharing* e acompanhar diretamente o trabalho já desenvolvido.

Por outro lado, e com vista a suplementar este regime colaborativo BIM, foram também agendadas reuniões quinzenais entre a gestão de projeto, fiscalização e empreiteiro (estas reuniões possibilitam uma participação ativa de todos, permitindo acompanhar todo o processo de trabalho. Paralelamente foram também agendadas reuniões semanais internas entre as equipas de preparação técnica – Reuniões de Preparação BIM com vista ao esclarecimento de questões técnicas relacionadas com a preparação de obra e compatibilização de projetos; e Reuniões de Coordenação BIM com vista à aplicação dos procedimentos BIM definidos no BEP.

Não obstante o que foi aqui referido quanto à organização das pastas WIP e respetivos modelos, é importante referir que esta metodologia de trabalho pode ser facilmente moldada e estruturada da forma que melhor se adequar ao desenvolvimento dos trabalhos a nível contratual. Nesta obra em específico, e por consequência da adjudicação das diferentes subempreitadas, verificou-se a necessidade de subdividir alguns modelos, pois a autoria e responsabilidade contratual de cada subempreiteiro exigia que alguns elementos que estavam modelados num determinado modelo de um subempreiteiro, fizessem parte do escopo de outro subempreiteiro.

Como por exemplo sucedeu com a Rede de Gás (presente originalmente no modelo de Eletricidade (ME-ELM), mas fazendo parte integrante dos trabalhos de Hidráulica (LZM)) e com a Rede de Condensados (presente no modelo de Hidráulicas (LZM), mas fazendo parte integrante dos trabalhos de AVAC (ME-ELM)). Para o efeito, foram isolados os elementos em questão e foi criado um modelo específico para cada uma destas redes, e organizado dentro da pasta do subempreitado específico (ver exemplo na figura 8).

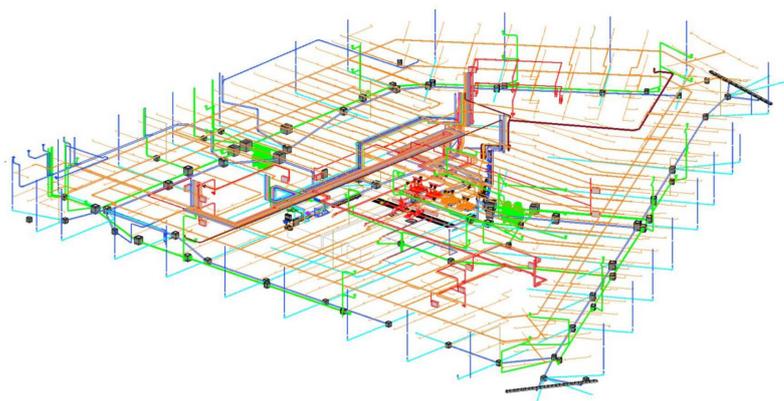


Figura 8
Redes Isoladas para criação de novos modelos.

3.2. Requisitos internos de preparação de obra

Com o objetivo de consolidar os procedimentos BIM em fase de obra foi desenvolvido internamente um documento que estabelece os princípios e requisitos base a ter em conta por cada equipa de preparação, no que se refere às boas práticas de organização, apresentação, modelação e manipulação de modelos – desde a folha de abertura até à organização e partilha dos modelos.

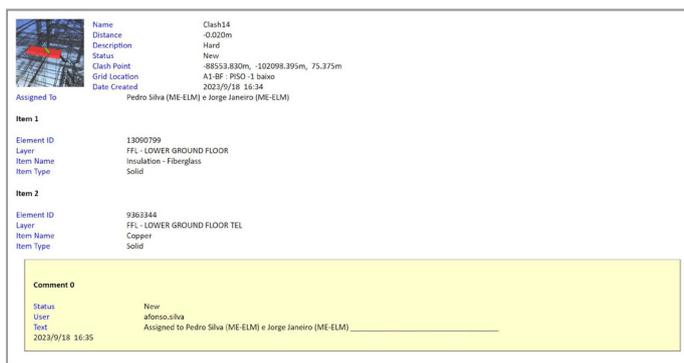
Desde logo, e antes de se iniciar qualquer trabalho de preparação, ficou estabelecido que nenhuma informação original do projetista poderia ser apagada, e como tal, toda a estrutura base do modelo *Project Browser* ficaria intacta. Para o efeito e sempre que necessário, ficou estipulado duplicar-se os elementos alvo de intervenção – fossem eles vistas, famílias, folhas, etc. – dentro de cada modelo, diferenciando-as com o prefixo “ME”, distinguindo-se assim facilmente a autoria do trabalho desenvolvido pelo empreiteiro durante a fase da construção.

3.3. Compatibilização de projetos em fase de preparação de obra

Como já referido, um dos grandes benefícios da metodologia BIM consiste no trabalho colaborativo em ambiente partilhado, através da “linkagem” de modelos, onde cada equipa interage de forma dinâmica com as demais equipas. Esta possibilidade de “linkar” e visualizar todos os projetos num único espaço constitui uma poderosa ferramenta no âmbito da preparação de obra, pois permite não só acompanhar o trabalho desenvolvido por todas as equipas em tempo real, como também e sobretudo detetar e resolver eventuais conflitos entre especialidades não resolvidos em fase de projeto.

Como tal, no decorrer da obra, deve ser feito um trabalho de compatibilização dos projetos com vista à partilha de informação fidedigna para a frente de obra e à redução de problemas que resultam em tempo e custos extra no momento de executar (ver figura 9).

Figura 9
Conflito partilhado
entre equipas de
preparação.



Esta compatibilização deverá ter por base uma análise exaustiva de todos os projetos em simultâneo, podendo para o efeito ser usado o Modelo Federado criado e partilhado entre todas as entidades no BIM360. Este modelo é por sua vez alimentado por todos os modelos partilhados como *Shared* [1].

3.4. Partilha dos modelos do empreiteiro com os projetistas

Em empreitadas desta complexidade é comum existirem alterações de projeto em fase de obra, e, por conseguinte, é importante buscar mecanismos e métodos de trabalho capazes de restringir as implicações que esta temática traz no decorrer de uma obra, nomeadamente em processos BIM, onde surgem diferentes modelos com versões diferentes que por muitas vezes não acompanham o trabalho já desenvolvido pelas equipas em obra.

Ou seja, em determinado momento pode surgir uma revisão ao projeto que comporta uma série de alterações – alterações essas que na maioria das vezes são feitas sobre um modelo de uma revisão anterior caso ela exista. E por essa mesma razão, num contexto de obra onde é feito um trabalho contínuo de preparação (incluindo, portanto, o período intercalar de cada revisão), pode-se perder facilmente o trabalho de preparação até então desenvolvido.

Para mitigar situações como a referida anteriormente, existem métodos e procedimentos BIM que permitem dar continuidade aos trabalhos de forma interativa e sem prejuízo de informação/modelação. Nesta obra em específico, e por força de uma grande alteração num determinado modelo (leia-se projeto), foi criado um procedimento restrito que permite “devolver” temporariamente o modelo WIP à equipa projetista com base numa autorização de edição, sem que seja necessária qualquer alteração ou migração da estrutura de ficheiros já definida.

O procedimento abaixo ficou registado no BEP, tendo sido já testado durante a empreitada (ver figura 10).

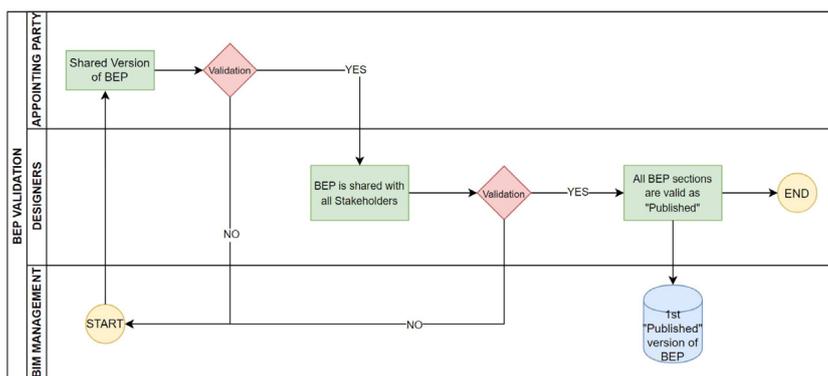


Figura 10
Fluxo de partilha dos modelos do empreiteiro com projetistas.

Este fluxo de partilha permite por um lado que o projetista trabalhe sobre a versão mais atualizada e compatibilizada de um determinado modelo, e por outro, salvaguarda todo o trabalho já desenvolvido pela equipa de preparação em obra até esse momento.

As alterações ainda não validadas são trabalhadas na pasta WIP e após validação por parte da equipa responsável, são partilhadas na pasta “Shared”. Estas alterações são revistas pela entidade que as requereu e caso não sejam aceites deverão ser corrigidas novamente na pasta WIP.

4. Conclusão

Com prazos cada vez mais apertados tanto de projeto como de obra, o BIM assume-se como uma metodologia imprescindível para atingir os objetivos exigentes dos Donos de Obra. O edifício do presente caso de estudo poderia ser executado sem recurso à metodologia BIM, no entanto a tomada de decisão seria por vezes mais demorada, a coordenação seria ineficiente e o prazo de menos de 3 anos de obra, provavelmente impossível. Sendo a fase de empreitada ainda recente para este projeto são expectáveis novos desenvolvimentos durante os próximos dois anos, nomeadamente na forma como a informação é comunicada com a frente de obra e o balanço final sobre os ganhos pelo uso do BIM.

Referências

- [1] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-2 "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 assets, BSI Standards Limited, 2018.
- [2] International Organization for Standardization (ISO), ISO 19650-1 "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, BSI Standards Limited, 2018, p. 1.

Implementação do BIM em obras lineares – Canal do Sertão Alagoano – Trecho 5

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.48>

Tarek Farah¹, Marieli Donina¹, Gabriela Farias¹

¹ TPF Engenharia, Recife, Brasil.

Resumo

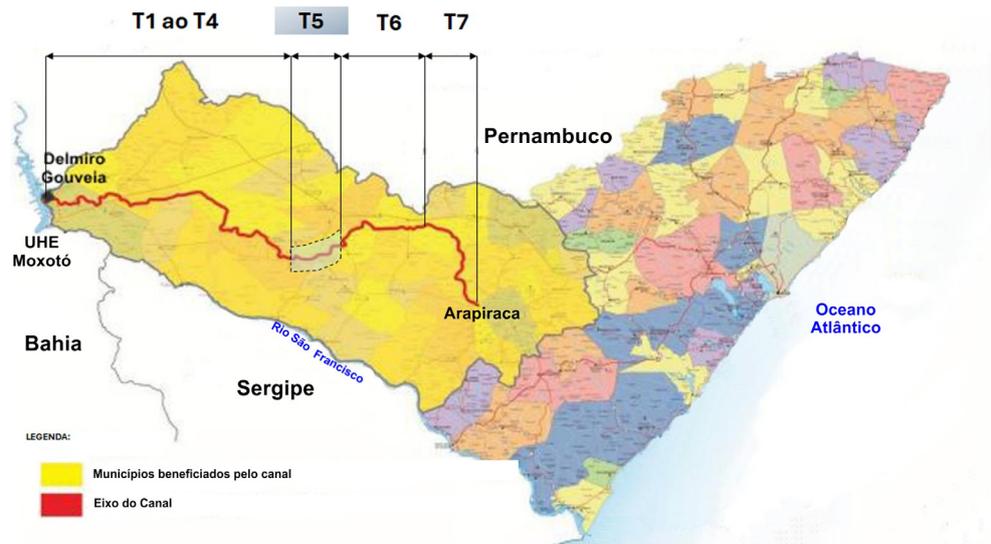
O canal do sertão alagoano, iniciativa do governo do estado de Alagoas-Brasil para combate à seca da região semiárida, visa proporcionar acesso à água para usos múltiplos (urbano e rural, agricultura irrigada e pecuária). O contrato do trecho 5 do canal (CSA-T5), a ser realizado pelo consórcio OECI-TPF, tem como exigência a utilização do *BIM*, tecnologia de modelagem de informação na construção cujo fundamento está na abordagem colaborativa. Esta exigência e o interesse comum dos principais *stakeholders* do contrato na adoção da tecnologia formaram as principais motivações para a elaboração do Plano de Execução BIM (PEB), onde foi realizado o planejamento para os trabalhos. O foco deste trabalho está nos principais processos/recursos adotados durante a implementação do BIM no desenvolvimento dos projetos executivos. Também é apresentada uma compreensão geral da complexidade geométrica e soluções de modelagem de canais. Com a aplicação do PEB no Canal Trapezoidal n.º 44 do CSA-T5, foi possível compreender que a adoção do BIM resultou em benefícios substanciais, como redução do retrabalho nos projetos, melhor capacidade de resposta a mudanças e aumento da interação/colaboração entre as equipes de trabalho. Essa abordagem demonstra como a implementação do BIM pode aprimorar significativamente o processo de desenvolvimento de projetos.

1. Introdução

O Canal do Sertão Alagoano é um projeto de infraestrutura hídrica implementado pelo governo do estado de Alagoas – Brasil. Este canal é uma iniciativa para enfrentar os desafios causados pela falta de água recorrente, uma vez que a seca é uma questão crônica em várias partes do semiárido nordestino do Brasil, incluindo os municípios do estado de Alagoas, inseridos na região. Além disso, o canal visa aumentar a produtividade agrícola ao disponibilizar água para áreas que enfrentam escassez hídrica, permitindo o abastecimento urbano e rural e ainda o cultivo de culturas mesmo em períodos de seca prolongada.

O Canal tem uma extensão planejada de 250 km, com parte significativa já construída, atingindo a marca de 123,4 km (T1, T2, T3 e T4). Sua captação foi implantada na usina hidrelétrica de Moxotó, localizada na cidade de Delmiro Gouveia, e foi projetado para ter uma vazão máxima de 32 m³/s, afetando diretamente e indiretamente 42 municípios. Na Figura 1, constam os trechos remanescentes do Canal do Sertão Alagoano, que são: T5 (escopo do presente trabalho), T6 e T7.

Figura 1
Visão geral do CSA e seus trechos T1 a T7.



De maneira geral, os empreendimentos de canais de adução para essa ordem de vazão são bastante desafiadores, desde suas fases de concepção e projeto até a fase de execução e operação/gestão de ativos. Todos os desafios a serem enfrentados são amplificados pela extensão prevista, grande número de estruturas, porte das obras, condições geológicas desfavoráveis (pouca disponibilidade de solo para aterro, muita necessidade de detonação em rocha sã ou levemente alterada), condições climáticas desfavoráveis e ainda aspectos do desenvolvimento dos projetos em si, como sua complexidade geométrica.

No trabalho em questão, será dado foco aos aspectos inerentes ao desenvolvimento do projeto executivo do CSA-T5, em consonância com o seu PEB, permeando o uso da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM), para alcançar a dimensão 4D, a qual requer que a modelagem não se restrinja apenas à geometria tridimensional do projeto, mas também leve em conta o aspecto temporal (4D) proporcionando uma visão mais abrangente e integrada do empreendimento com seu planejamento, melhor materializado por seu cronograma.

Com uma extensão total de 26,4 quilômetros, que vai do quilômetro 123,4 ao quilômetro 149,8, o CSA-T5 atravessa os municípios, São José da Tapera, Monteirópolis e Olho d'Água das Flores, conectando e beneficiando diversas comunidades ao longo do percurso. Dos 26,4 km de extensão, 22,11 apresentam obras de estrutura como canais trapezoidais para a condução da água e quatro pontes canais (também conhecidos por aquedutos) que foram estrategicamente distribuídas ao longo do trecho, totalizando 1,06 km de serviços.

Há também a previsão de projeto e construção de três estruturas de controle equipadas com comportas hidráulicas que fornecem a capacidade de regular a vazão da água, garantindo uma administração eficiente e adaptável às necessidades do projeto. Destaca-se ainda a previsão de um sifão invertido com 1,5 quilômetro de extensão e 2400 mm de diâmetro e de um túnel de adução com 1,5 quilômetro de extensão evidenciando uma solução engenhosa para transpor obstáculos e garantir a continuidade do canal em diferentes condições. As interseções com o sistema viário da região também precisaram ser cuidadosamente tratadas, pois serão necessários dois cruzamentos sobre rodovias estaduais.

2. BIM e os desafios para a sua implementação em obras de infraestrutura

Desde a instituição do decreto BIM (Nº 9.377/2018 posteriormente revogado e substituído pelo Decreto N.º 9.983/2019) que apresentou a estratégia nacional de disseminação do BIM no Brasil, a implantação de projetos e obras públicas de infraestrutura, considerando essa tecnologia, tem se difundido de maneira mais consistente. Quando a contratação de uma obra não prevê a realização integrada de algumas das fases mais importantes como as de projeto e construção, a implementação do BIM fica bastante prejudicada, pois, a incorporação de informação ao modelo ao longo do ciclo de vida pode não ser muito efetiva.

As empresas de consultoria em geral sofrem constantemente com esse tipo de situação e terminam por investir no BIM mais voltado à metodologia de trabalho colaborativa sobre uma edificação ou infraestrutura 3D virtualizada, optando pela implantação de ferramentas que promovam uma melhor eficiência e produtividade.

Outro aspecto que vale ser ressaltado é o de que o BIM para obras de infraestrutura está em estágio de desenvolvimento inferior ao BIM para edificações. Isso fica bastante evidente pelo fato do formato IFC 1.0 (*Industry Foundation Class*) ter sido

lançado em 1997, mas, apenas em 2013, após lançada a *Infrastructure Room* – *InfraRoom*, cuja principal missão era resolver a questão da falta de suporte a modelos de infraestrutura, foi lançado o IFC 4.1 incluindo tal suporte. Ainda hoje, não há, por exemplo, um segmento voltado a projetos de infraestrutura de canais de adução/irrigação na *InfraRoom*.

Diante desse cenário, o desenvolvimento deste projeto, por se tratar de um grande canal de adução em BIM, tem um caráter inovador e desafiador. As ferramentas de modelagem, por exemplo, não estão preparadas para tal tipo de desenvolvimento. Logo, a equipe de projetos propôs o desenvolvimento de soluções para seus problemas utilizando elementos como *subassemblies* personalizados e o *Dynamo*, para tentar suprir a falta de ferramentas de mercado específicas para esse tipo de trabalho e promover maior eficiência através da aplicação de programação. Nesse aspecto, a TPF Engenharia tem entendido cada vez mais que é importante que seus engenheiros tenham treinamentos específicos em linguagens de programação voltadas para a automação dos processos de desenvolvimento de projeto, como *Python* e *C#*.

3. O uso de um plano de execução BIM como aliado

O PEB é um documento essencial que delinea a visão geral e os detalhes de implementação do BIM. Este plano fornece informações cruciais para orientar a equipe durante o projeto, sendo fundamental para garantir uma implementação bem-sucedida do BIM [1]. A transição para o BIM requer uma estratégia bem elaborada, e o PEB emerge como peça-chave nesse processo. Este estudo explora a abordagem adotada pelo Consórcio OECI-TPF, em que a implementação bem-sucedida do BIM é fundamentada no dinâmico Plano de Qualidade do Produto (PQP), guiado pelas instruções internas e diretrizes delineadas no *Template* para execução de PEB. O *Template* assume uma posição central na estruturação deste documento. Esse documento tanto estabelece as bases para a implementação efetiva do BIM, como também representa uma compilação de conhecimentos especializados voltados para o tema dentro da organização. Na Figura 2 são apresentados: (a) a macroestrutura de um plano de qualidade de produto e (b) um fluxograma que representou as atividades que foram seguidas para a realização do PEB do projeto do CSA-T5. Normas internacionalmente reconhecidas, como NBR ISO 19650 [2] e NBR ISO 15965 [3], foram fundamentais no desenvolvimento da documentação. Dentro do PEB também foi previsto o uso do ProjectWise, como Ambiente Comum de Dados (CDE), que foi bem aceito pela contratante, a qual se demonstrou engajada na implementação do BIM.



Figura 2
 (a) Macroestrutura de um Plano de Qualidade do Produto;
 (b) Fluxograma para a elaboração do PEB no projeto do CSA-T5.

4. EAP, objetivos BIM e estruturação do modelo

Um passo importante e que merece destaque para o desenvolvimento dos trabalhos é a definição da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), cuja organização adotada no caso do CSA-T5 está apresentada na Figura 3. Esta estrutura é uma hierarquia que desmembra o escopo total do trabalho em níveis detalhados, possibilitando à equipe alcançar os objetivos e produzir as entregas necessárias [4]. Cada nível representa uma definição mais detalhada do trabalho. Nesse caso, a EAP serviu como um dos principais insumos para se pensar na estruturação do modelo, que será abordado a seguir. Neste contexto específico, foi preciso também considerar os objetivos da aplicação do BIM no projeto (objetivos BIM).

No caso em questão, os principais objetivos BIM foram: *design* colaborativo, melhoria de produtividade da equipe de projeto, melhoramento da capacidade de resposta às mudanças e exigências do local, além de um planejamento e acompanhamento mais eficazes da construção (4D).

A EAP serviu como referência para definição da estruturação do modelo. Nesta fase, a equipe de projetos organizou a forma de estruturar e segmentar cada arquivo e objeto da modelagem, planejando de maneira organizada as superfícies, alinhamentos, corredores e a forma mais eficiente de se modelar cada estrutura para que fosse possível alcançar os objetivos delineados de maneira eficiente.

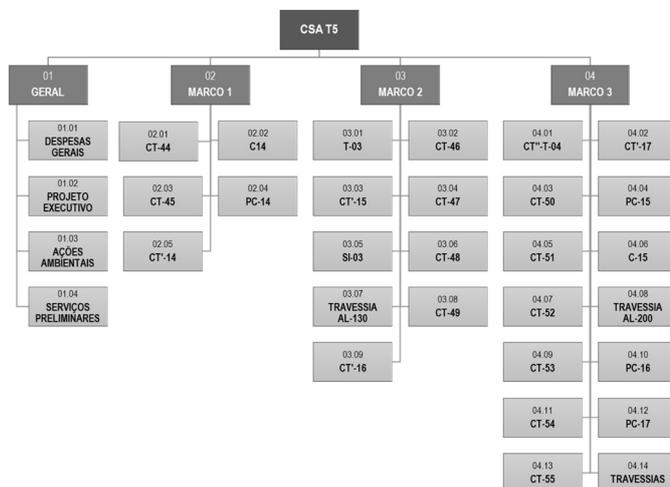


Figura 3
 Estrutura Analítica do Projeto – EAP do CSA-T5.

Com base na experiência dos profissionais no desenvolvimento de obras de canais de adução, observou-se que trechos de canais projetados no Civil 3D com extensão superior a 10 km em um único arquivo resultaram em desempenho baixo a médio em todas as experiências anteriores, conforme apresentado na Tabela 1. É importante ressaltar que alguns desses projetos foram elaborados em computadores com periféricos mais antigos em comparação aos dispositivos disponíveis na atualidade, mas, no cenário atual de trabalho em empresas de consultoria, em que prevalece o *HomeOffice* é comum que o desenvolvimento das modelagens ocorra com o uso de *laptops*, que ainda hoje, têm desempenho inferior aos *desktops* e estão frequentemente sujeitos a ineficiência devido a baixo desempenho de hardware.

Ressalta-se que os modelos de canais requerem, geralmente, superfícies referentes ao terreno natural, transição entre 1.^a/2.^a categorias de escavabilidade e transição entre 2.^a/3.^a categorias (superfície da rocha sã), além dos elementos de corredores dos canais em si e os elementos de obras de drenagem superficial e obras de arte corrente e especiais, o que pode resultar em arquivos muito pesados. Com o advento da funcionalidade de *datashortcuts* no Civil 3D, passou-se a enxergar a modelagem de maneira mais facilitada, evitando-se a necessidade de lidar com modelos extensos. No projeto CSA-T5, a abordagem adotada considerou a divisão do modelo por estrutura, variando de canais menores que 1 km até aproximadamente 4,5 km. Essa estratégia resultou no melhor desempenho até o momento, considerando todas as experiências anteriores da empresa. Vale comentar que quando bem estruturado, o fato de o modelo estar segmentado em trechos pequenos não traz prejuízos para os trabalhos ou para o entendimento do projeto, já que o software utilizado é capaz de abrir vários trechos de canais simultaneamente em um único arquivo quando necessário, através de ferramentas como o próprio *datashortcut* ou com o uso de referências externas, promovendo a integração dos dados.

Tabela 1: Experiências na estruturação de modelos de projeto de canais.

Projeto	Características	Estruturação	Desempenho
Eng. de detalhe do Canal Acauã-Araçagi na Paraíba (2012-2017)	Ramal do PISF, $Q_p=10 \text{ m}^3/\text{s}$; 130 km extensão total.	Modelo dividido por segmentos de menos de 1 até 22 km (Sem <i>datashortcuts</i>)	Muito pobre quando os canais tinham mais do que 10 km.
Eng. básica de projeto de irrigação em propriedade em Guadalupe – Piauí (2015-2016).	Projeto de irrigação de 55.000 ha, $Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{s}$; 120 km de redes de canais.	Dividido por canais com extensões desde 1 km a até de 25 km. (Sem <i>datashortcuts</i>)	Pobre a médio desempenho quando os canais tinham mais do que 10 km.
Eng. básica do Canal de Xingó em Sergipe e Bahia (2019-2022)	Canal de adução de $Q_p = 31 \text{ m}^3/\text{s}$; 115 km de extensão total.	Dividido por trechos de aprox. 10 km Com <i>datashortcuts</i>	Médio

O diferencial que se consegue com essa segmentação em trechos menores é o de estar sempre trabalhando em arquivos com bom desempenho. Ao refinar a estruturação do modelo a equipe se deparou com o desafio de segmentar os objetos modelados de maneira lógica para posteriormente, na etapa de mapeamento das atividades do cronograma, conseguir conectar a cada segmento a uma linha específica do cronograma e visualizar o que se pretende. Para tal, como estratégia, a equipe

buscou inspiração nos próprios termos de referência do edital de contratação da SEINFRA-AL [5], que definiu os critérios de medição por eventos concluídos considerando intervalos específicos.

Tabela 2: Critérios de medição do edital n.º 014/2021, modificado de SEINFRA-AL [5].

Projeto	Critério simplificado de medição
Remoção Vegetal	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.
Limpeza	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.
Cercas	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.
Escavações	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.
Aterros	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.
Estruturas de Concreto	Cada 100 m concluídos + fração remanescente.
Drenagem superficial	Cada 500 m concluídos + fração remanescente.

A principal unidade de progresso por evento concluído considerada no edital foi de 500 m, com ênfase especial nas estruturas de concreto dentro do canal, onde o pagamento ocorre após a execução total de cada 100 m. Diante desse cenário, a equipe decidiu dividir os objetos do modelo de terraplenagem do canal em segmentos de 500 m. Para facilitar essa divisão, foram criados corredores distintos a cada intervalo de 500 m, permitindo uma fragmentação mais eficiente dos sólidos, que são os objetos melhor compatibilizados com softwares como o *Navisworks*. Essa abordagem é claramente demonstrada na estruturação do modelo proposto para o Canal CT-44.

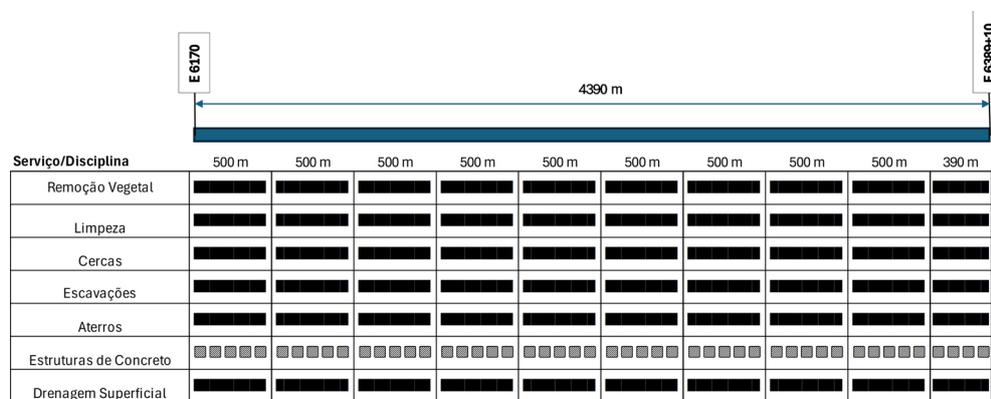


Figura 4
Estruturação do modelo do canal CT-44 (4,39 km) do CSA-T5.

5. Complexidade da geométrica dos canais

5.1. Desafios para a modelagem de canais

A geometria de obras hídricas é definida pela envoltória de condições hidráulicas que esta estará sujeita e deve ser definida tanto no sentido transversal quanto no sentido longitudinal. Em geral, o perfil longitudinal depende do regime de controle adotado, sendo que os três principais são: controle de montante; controle ao meio-trecho e controle de jusante. O controle meio-trecho foi selecionado para o CSA-T5. Em termos geométricos, canais preparados para esse regime de controle possuem

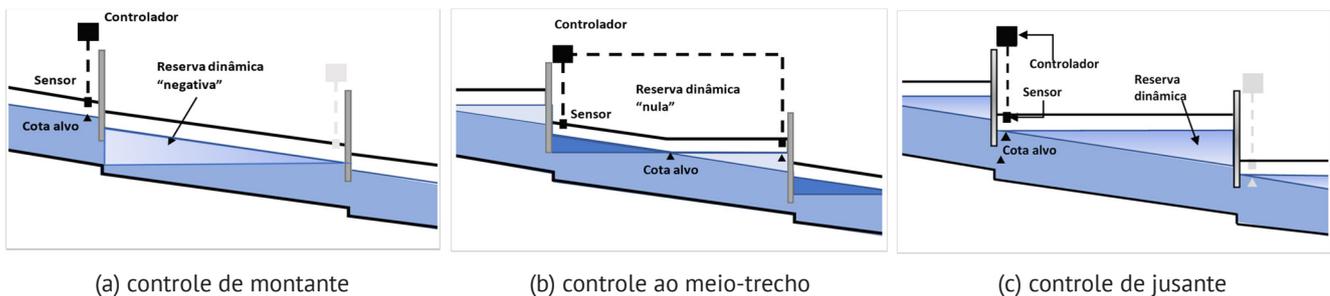
berma inclinada até a estaca média de cada *pool* e berma plana da estaca média até o fim de cada *pool* (trecho entre estruturas de controle hidráulico). Na Figura 5, a seguir, podem ser vistos os perfis longitudinais esquemáticos típicos de canais projetados para os três regimes de controle citados.

A escolha da solução de revestimento em obras hidráulicas, também demonstra ser um desafio, pois requer uma análise abrangente que englobe aspectos como durabilidade, robustez da solução, facilidade de limpeza, impermeabilização, custo de implantação, custo de manutenção, considerações ambientais e socioambientais. Em geral, os canais de adução têm sido implantados quase sempre com a adoção de uma geomembrana impermeabilizante que ora é utilizada exposta ora associada alguma proteção mecânica em concreto simples.

O uso da geomembrana protegida se destaca devido, principalmente, em termos de durabilidade. Quando considerado o clima semiárido, que impõe muita exposição solar e calor, as soluções que consideram a geomembrana exposta são menos viáveis, devido à degradação dos polímeros por UV. Assim, considerando também a maior robustez da solução e a facilidade de manutenção, características essenciais em obras do setor público, no canal em questão, o revestimento adotado foi de geomembrana com proteção de concreto simples. A representação esquemática da solução de revestimento e geometria da seção hidráulica (variáveis) pode ser conferida na Figura 6.

Para além de sua geometria complicada do ponto de vista da seção hidráulica, a obra do canal precisa lidar com os desafios de terraplenagem considerando todas as situações possíveis, contando com trechos de corte em 1.^a, 2.^a e 3.^a categoria, aterros e seções mistas, sendo que, na região semiárida do nordeste brasileiro, temos a predominância de uma geologia composta por rochas do cristalino (granitos, granitoides, gnaisses, migmatitos e associações) e cobertas por solo residual maduro, em geral, de espessuras métricas a submétricas.

Figura 5
Esquema com os tipos de regime de controle de canais mais usuais.



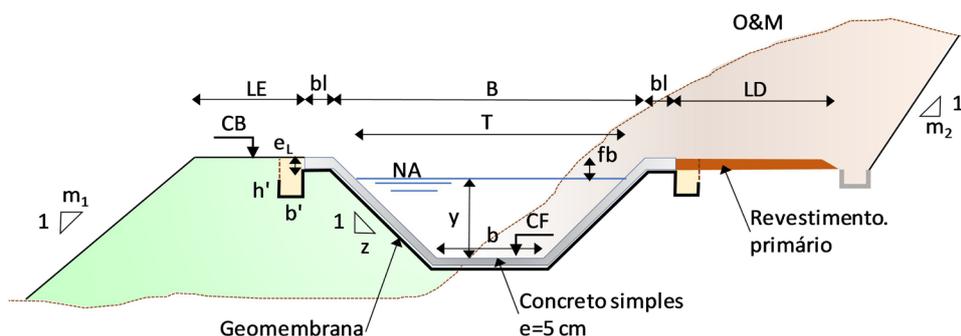


Figura 6
Seção típica de um canal de geomembrana protegida por concreto simples.

5.2. Otimizando o processo de modelagem de canais

Para dar conta das variáveis a serem consideradas para uma modelagem consistente do canal, é necessária a utilização do Autodesk *Subassembly Composer*, que permite a criação de elementos para compor uma seção transversal paramétrica da estrutura. Para desenvolvimento do CSA-T5, três *subassemblies* criados foram essenciais para dar conta da geometria do canal principal, conforme Tabela 3, apresentada a seguir.

Após a elaboração dos subassemblies, foram modelados os corredores dos canais no software *AutoCAD Civil 3D* com auxílio dos *datashortcuts*, e em seguida, distribuídos aos responsáveis pelos projetos de cada disciplina (terraplenagem, drenagem, hidráulica, entre outras) que juntas compõem o modelo federado do canal. Para o aprimoramento do processo de modelagem e a coordenação do projeto foram usadas algumas ferramentas específicas, como Dynamo, Navisworks e Infraworks.

O Dynamo foi utilizado para automatizar o processo de dar volumetria à maquete do modelo final do canal, através de um grupo de pontos associados ao levantamento cadastral, que possibilitou popular o modelo com 3D multi-view blocks do Civil 3D.

Já no Navisworks, o foco foi na identificação de conflitos entre os projetos das diferentes disciplinas, duplicidades e interseções entre objetos, bem como a visualização do planejamento da obra ligado ao modelo 3D, pois o Navisworks permite integrar a modelagem feita no Civil 3D ao cronograma e quantitativos de cada obra. Essas fases são cruciais para garantir a integridade e a consistência do projeto e seu planejamento, especialmente quando várias disciplinas estão envolvidas e várias frentes de trabalho serão empregadas. A detecção precoce de conflitos ajuda a evitar problemas durante a execução do projeto.

Por fim, o *Infraworks* foi utilizado para inserir diferentes fontes de dados no modelo final e possibilitar a apresentação de uma maquete mais simples e amigável.

Figura 7

Maquete 3D elaborada no Infraworks.

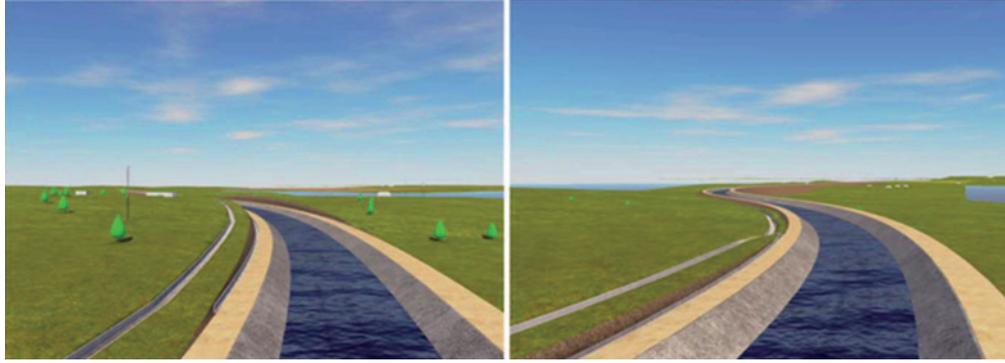
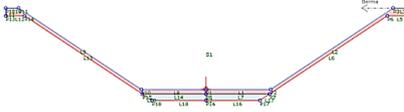
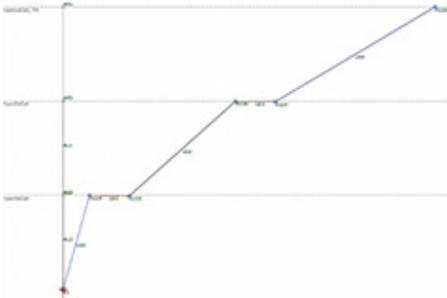
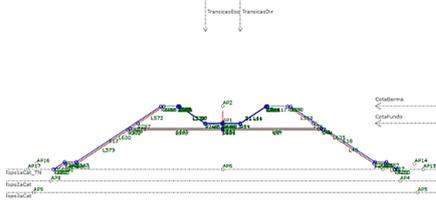


Tabela 3: Principais *subassemblies* personalizados para modelagem do canal de adução.

Subassembly	Descrição simplificada
<p data-bbox="411 763 655 786">Canal trapezoidal simples</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura variável com possibilidade de aplicação de alvos; - Revestimento com opção para espessuras distintas de paredes e fundo; - Fornece quantidades precisas por meio de elementos tipo <i>shape</i>; - Permite a variação da largura da base e os ângulos de taludes; - Possibilita modificações nas larguras e espessuras da borda; - Permite criar a camada de drenagem de fundo definindo sua espessura.
<p data-bbox="411 1061 560 1084">Cortes e Aterros</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajusta-se a casos de corte em solo (1.ª categoria), corte em rocha alterada (2.ª categoria), corte em rocha sã (3.ª categoria) e aterro compactado; - Estabelece diferentes taludes para cada corte, a depender da altura e tipo de material; - Constrói berma intermediária sempre que a altura máxima de corte ou aterro ultrapassasse o valor de referência; - Estabelece uma berma em cada transição de material, com a consideração de ignorar a construção desta se os critérios resultassem em proximidade maior do que parâmetro de referência; - Desenvolvimento de códigos específicos para assegurar que a modelagem identifique todas as variações do terreno, evitando descontinuidades em situações de mudança de seções.
<p data-bbox="411 1480 576 1503">Seção <i>Tout-Venant</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Altura variável do fundo à crista ao longo do alinhamento; - Permite definir espessuras de materiais diferentes para os materiais utilizados na envoltória da seção hidráulica e para materiais da base; - Possibilita definição de altura mínima para aplicação da seção <i>tout venant</i>; - Apto a aplicar camada de transição com espessura selecionada; - Permite prover os quantitativos de materiais adotados; - Permite criar bermas intermediárias para alturas de aterro acima do valor de referência.

6. Conclusão

O primeiro segmento do CSA-T5, o canal trapezoidal nº 44, foi projetado utilizando a modelagem no Civil 3D e conectando-a ao *Navisworks*, vinculando-a a um cronograma no formato MPX. Esta abordagem integra a programação temporal diretamente ao modelo BIM, proporcionando uma visão tridimensional do progresso do projeto em relação ao tempo, contribuindo assim para a consecução dos objetivos delineados pelo consórcio, através da construtora. Além disso, o CSA-T5 teve um excelente engajamento por parte dos principais stakeholders, principalmente graças às políticas de disseminação do BIM correntes no Brasil. O uso bem-sucedido da tecnologia BIM nesse caso se dá também ao bom planejamento materializado na forma do PEB e pela boa maturidade do Consórcio no uso da plataforma escolhida como CDE, o ProjectWise, onde se conseguiu o engajamento dos principais stakeholders através do recurso *Deliverables Management*, que facilitou bastante a participação de analistas por parte do cliente e da gerenciadora, devido ao fato do software ser intuitivo e amigável. Por fim, pode-se dizer que os objetivos BIM foram alcançados, pois, a equipe fez um trabalho mais colaborativo, mais produtivo/eficiente e com melhor capacidade de responder às mudanças, muito comuns em projetos de infraestrutura.

Referências

- [1] F. A. A. P. Junior, L. F. Cândido, "Plano de execução BIM em MPE: a percepção de gestores de microempresas de construção", *Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (2021)*, v. 12, pp. 1-8, 2021.
- [2] NBR ISO 19650, "ISO 19650:2022 Gestão de informações de construção", International Organization for Standardization (ISO), 2022.
- [3] NBR ISO 15965, "ISO 15965:2011 Sistema de Classificação da Informação da Construção", International Organization for Standardization (ISO), 2011.
- [4] Project Management Institute – PMI, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® guide)* (5th ed.). Newton Square: Project Management Institute, 2013.
- [5] Secretaria de Estado da Infraestrutura de Alagoas (SEINFRA-AL), "Edital RDC Eletrônico N.º 014/2021", Brasil, 2021.

Aplicação BIM em corredores de transporte urbano

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.49>

Thiago Dantas¹, Melissa Rigo¹, Luiz Silva¹

¹ *TPF Engenharia, Curitiba, Brasil.*

Resumo

A criação de soluções para mobilidade urbana sustentável em grandes cidades tem sido um desafio crescente devido ao aumento da taxa de ocupação populacional destes territórios. O projeto de ampliação da capacidade das linhas de BRT (Bus Rapid Transit) e de revitalização paisagística da infraestrutura viária, que abrange 22 km de vias urbanas e uma estação de BRT na cidade de Curitiba, representa um importante case na engenharia de transportes brasileira. Esse estudo buscará expor os resultados, benefícios e desafios enfrentados na aplicação do BIM neste projeto, demonstrando como sua adoção foi essencial para a conquista de um melhor desempenho, qualidade e integração das disciplinas técnicas do projeto. Foi desenvolvido o modelo federado do empreendimento envolvendo a modelagem da estrutura do pavimento, elementos de sinalização, dispositivos de drenagem, iluminação pública, pontes, paisagismo e equipamentos urbanísticos, além da arquitetura e disciplinas associadas ao projeto da estação de ônibus. Os resultados obtidos indicam ganho de produtividade, redução de tarefas repetitivas através do uso de rotinas e automações, melhor capacidade de análise das soluções por meio do modelo 3D, extração confiável dos quantitativos e integração da equipe técnica – entre si e com as demais partes interessadas. Apesar do BIM ser ainda timidamente aplicado em infraestruturas lineares, este estudo constatou a possibilidade, com os ganhos associados, de sua aplicação em um projeto de significativa extensão e complexidade. Adicionalmente, o modelo servirá como base para o planejamento e acompanhamento da obra, além de ser o primeiro passo para a criação do Digital Twin do empreendimento.

1. Introdução

O uso das tecnologias BIM (*Building Information Modeling*) tem grande importância na eficiência da elaboração de projetos de engenharia e vêm ganhando cada vez mais participação no mercado. Entretanto, enquanto várias organizações têm usado o BIM em larga escala nos projetos de construções verticais, sua aplicação em projetos de infraestruturas lineares cresce em um ritmo menos acelerado, sendo apontado que o uso do BIM para infraestrutura se encontra cerca de três anos atrás do seu uso em outros tipos de projeto [1].

No Brasil, a participação da metodologia em projetos de infraestrutura vêm ganhando mais força nos últimos anos com a publicação do decreto nº 10.306 que determinou que, a partir de 2021, o BIM se tornou obrigatório nos projetos de obras públicas em todo o país.

Diante desse cenário, o projeto de ampliação da capacidade da linha de ônibus Inter 2 da cidade de Curitiba, no estado do Paraná, representa um grande case da utilização da metodologia BIM em projetos de infraestrutura pública brasileira. O trecho a ser apresentado nesse artigo faz parte do Lote 3.1 e abrange os projetos de terraplenagem, pavimentação, sinalização viária, dispositivos de drenagem, pontes, paisagismo e equipamentos urbanísticos de 22 km de vias públicas, além da arquitetura e disciplinas associadas ao projeto de uma estação de ônibus.

A Linha Direta Inter 2 constitui-se numa linha circular com poucas paradas, em estações tubo ou terminais. Possui grande importância para o sistema de transporte da cidade, pois faz a conexão entre os cinco eixos principais de BRT (*Bus Rapid Transit*) de Curitiba. Diante disso, o investimento no aumento da sua capacidade é de notável importância, pois permitirá o suporte ao crescimento da demanda do sistema e a otimização da rede de transportes. Com a melhoria da Linha Inter 2, também deve-se esperar melhorias na Linha Interbairros II, que possui trajeto coincidente na maior parte do percurso.

Em 2020, a Linha Inter 2 transportava cerca de 91 mil passageiros/dia útil. Ao somar o carregamento da Linha Interbairros II, de 64 mil passageiros/dia útil totaliza-se 155 mil passageiros /dia útil a serem beneficiados pelas melhorias projetadas, além da estimativa dos novos 26 mil passageiros por dia que devem se tornar usuários das linhas com o aumento da capacidade [2].

O grande destaque desse projeto em relação a outros casos de estudo já apresentados em BIM é sua extensão de 22 km, que exigiu a adaptação de toda a equipe e tecnologias para permitir a replicação dos processos garantindo a qualidade da modelagem e o atendimento das necessidades do projeto.

2. Modelagem

A modelagem 3D das disciplinas permite melhor visualização dos projetos, a validação qualitativa do modelo e facilita a detecção de conflitos entre as disciplinas. Com a coordenação BIM é possível antever situações antes mesmo da construção, através de simulações e da verificação cruzada virtual de todas as disciplinas de projeto.

Para o desenvolvimento dos projetos, além da separação pelas disciplinas apresentadas na Tabela 1, foi necessário segmentar o projeto em Pacotes de 1 a 6, cada um representando cerca de 4,5 km de vias urbanas, além de um Pacote representando os projetos da estação de ônibus, para que fosse possível manter a fluidez do trabalho sem a sobrecriação de informações nos arquivos.

Ao fim do processo, foram entregues todos os arquivos nativos e projetos em 2D no formato DWG e PDF, além do próprio Modelo Federal em formato NWD, onde podem ser visualizados em terceira dimensão todas as características das infraestruturas desenvolvidas. A federação dos modelos pode ser definida como a vinculação dos outros modelos desenvolvidos separadamente por cada uma das disciplinas a um único modelo central integrado. Ela é utilizada para um melhor entendimento do projeto e execução dos usos BIM de coordenação 3D e análise de projetos.

Tabela 1: Ferramentas utilizadas para desenvolvimento do Modelo

Disciplina	Ferramentas envolvidas
Geometria	Civil 3D
Terraplenagem	Civil 3D
Paisagismo	Civil 3D e rotinas desenvolvidas
Drenagem	Civil 3D
Fibra ótica	Civil 3D e rotinas desenvolvidas
Pavimentação	Civil 3D
Sinalização	Civil 3D e plug-in sinC
Geotecnia	Civil 3D e Dynamo
Obras de arte especiais	Revit
Estação de ônibus	Revit
Compatibilização	Navisworks

2.1. Terraplenagem e pavimentação

O projeto de terraplenagem constitui-se, de maneira geral, pelo cálculo de volumes de movimentação de terra e sua distribuição, com a respectiva classificação, definição de origens e destinos dos materiais e distâncias de transporte (DMTs). A análise da quantidade de volume de solo a ser movimentado na terraplenagem é uma etapa muito importante para as obras de infraestrutura, já que os volumes de terraplenagem possuem um impacto considerável dentre os itens que compõem o orçamento de uma obra [3].

O desenvolvimento do projeto no Civil 3D permitiu o desenho do alinhamento horizontal e vertical de forma qualquer mudança realizada em algum trecho de um desses alinhamentos, fosse atualizada automaticamente em todos os outros elementos do modelo. Na terraplenagem, o software foi utilizado para automatizar a geração de platôs, no cálculo de volumes de corte e aterro de material de maneira mais precisa e na geração automática das seções a cada 10 metros.

Nesse projeto em si, por se tratar de interferências em vias urbanas, os projetos de geometria e terraplenagem exigiram ainda mais precisão no nivelamento da via, a fim de reduzir os impactos nos alinhamentos prediais e cruzamentos existentes.

A modelagem da pavimentação consistiu na montagem das *assemblies* no Civil 3D representando as camadas da estrutura para os diferentes tipos de pavimento adotados nos trechos e sua indicação nas seções do corredor, para posterior extração dos sólidos.

Nesse projeto, foram adotadas estruturas de pavimento rígido de concreto e semirígido com sub-base de pavimento reciclado, de acordo com as premissas de cada trecho. Além desses pavimentos tipo, as vias também contam com trechos em pavimento intertravado na transição de pavimentos e nos remansos.

2.2. Geotecnia

Na disciplina de geotecnia, todas as sondagens realizadas foram modeladas conforme a profundidade e materiais das camadas identificadas em campo. Para isso, em razão do volume de furos a serem modelados, foi desenvolvida uma rotina através do *Dynamo* para Civil 3D que automatizou a modelagem das informações a partir dos dados tabelados.

Os dados obtidos em campo foram tabelados por meio do *Excel*, registrando a espessura, profundidade, e material de cada camada da sondagem. A partir desses dados, a rotina do *Dynamo* permitiu automatizar a modelagem de mais de 200 furos em poucos minutos, contendo todos os dados associados e suas dimensões, conforme a Figura 1.

Figura 1
Furos de sondagem.



2.3. Drenagem

A partir do estudo hidrológico e do modelo do terreno, foi possível elaborar o projeto de drenagem urbana. Desde o início, no projeto básico, as soluções já foram concebidas em BIM, através dos elementos do Civil 3D de *pipes*, que representam os tubos, e *structures*, que representam as bocas de lobo, caixas de ligação e poços de visita. Todos os elementos, desde a concepção, já possuem sua representação 3D com as dimensões adequadas e funções associadas.

Assim, foi possível verificar incompatibilidades entre os elementos e corrigi-las ao longo do desenvolvimento do projeto, principalmente nas conexões com a infraestrutura existente a ser mantida.

2.4. Fibra óptica

Para a rede de lógica e fibra ótica, foram modeladas as caixas de passagem e tubos PEAD. Como o projeto possuía três tipos de caixa, para tornar esse processo mais preciso e menos repetitivo, foi desenvolvida uma rotina que permitiu gerar os sólidos das caixas e dos tubos a partir das *polylines*, garantindo o padrão das dimensões dos elementos e seu posicionamento correto na superfície de projeto.

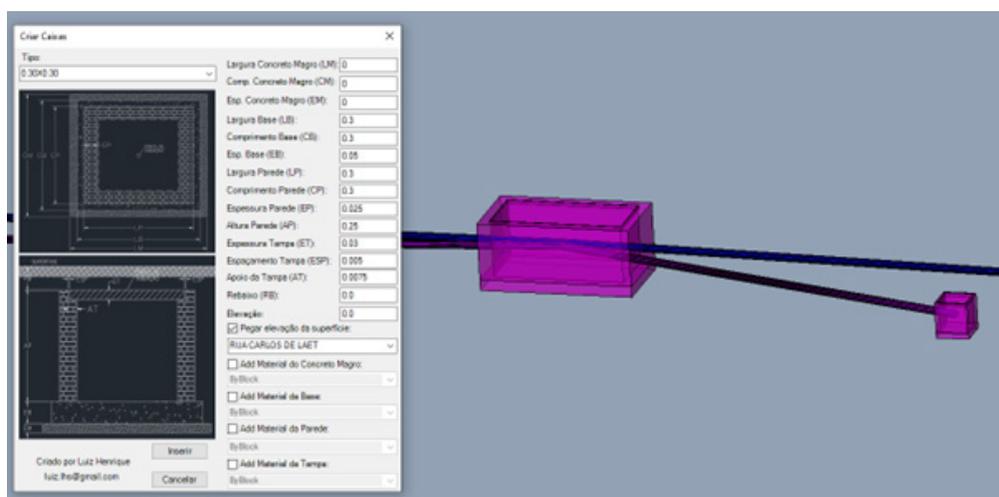


Figura 2
Tela de uso da rotina para modelagem de caixas de fibra ótica.

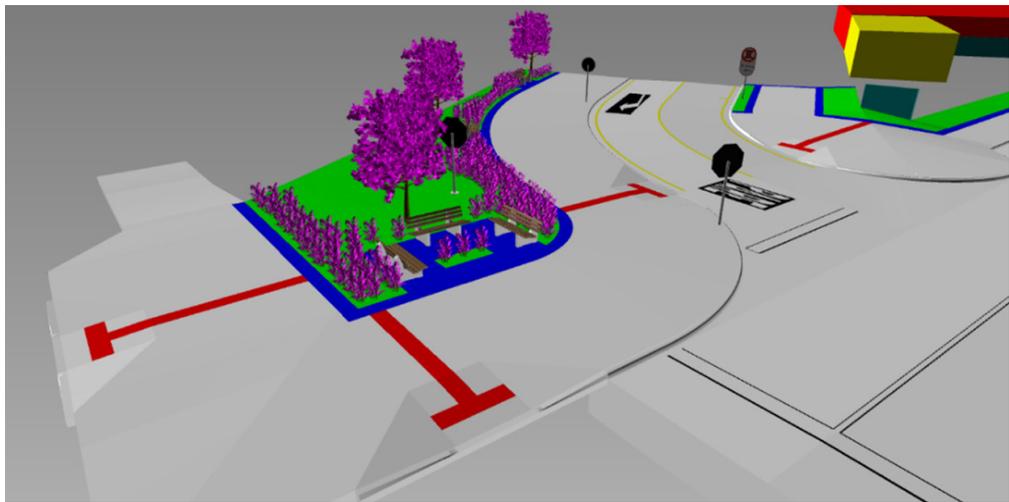
2.5. Paisagismo

O projeto de paisagismo compreende o calçamento, a acessibilidade, o mobiliário urbano, a arborização, a vegetação e o tratamento paisagístico. Nesse projeto, a modelagem do paisagismo representou um grande desafio para o desenvolvimento do BIM. Como esse projeto faz parte do Programa de Mobilidade Sustentável de Curitiba, seu desenvolvimento se deu de maneira a priorizar a mobilidade ativa e a instalação de áreas verdes de lazer de maneira compartilhada ao transporte motorizado.

Essa característica do projeto representou um desafio para a equipe de modelagem BIM, já que a existência de alegretes, grama e rampas de pedestres e veículos exigiam a necessidade da troca de *assembly* do corredor do calçamento a cada poucos centímetros. Assim, foram elaboradas mais de 60 *assemblies* para o calçamento, atendendo todas as variações possíveis de passeio para cada lado do corredor.

Para configurar os *offset targets*, ou seja, o alvo de cada seção do passeio, foi desenvolvida uma rotina que permitiu configurar todas as regiões que possuíam a mesma seção tipo ao mesmo tempo, gerando um ganho de produtividade muito expressivo. Nas interseções, além do formato curvo e irregular do calçamento, também foi necessário modelar as rampas de acessibilidade e o piso tátil.

Figura 3
Paisagismo de uma
intersecção.



2.6. Sinalização

A partir das superfícies do pavimento e calçamento acabados, é possível modelar a sinalização horizontal, vertical e semafórica. Nesse projeto, foi utilizado o *plug-in* brasileiro *sinC*, compatível com o *Civil 3D*, que permite a automatização e garantia de precisão nas etapas do projeto de sinalização em BIM.

O *plug-in* contém uma biblioteca parametrizada de todos elementos de sinalização padronizados pelo CONTRAN (Conselho Nacional de Trânsito), além de ferramentas para a modelagem de placas e faixas especiais do projeto. Nesse projeto, foram modelados vários elementos, especialmente placas, de acordo com a regulamentação da Secretaria Municipal de Trânsito de Curitiba, seguindo as dimensões e materiais padronizados no município.

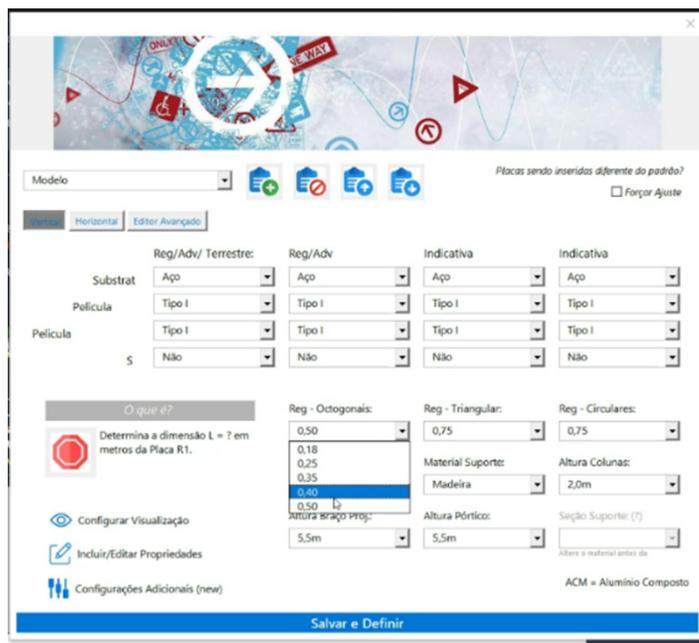


Figura 4
Tela de configuração de placas do sinC.

O sinC proporciona a extrusão automática de todas as camadas de pintura da placa ou faixa de uma vez só, agilizando muito o processo de modelagem de cada elemento. A partir dele, todos os elementos podem ser configurados na elevação da superfície acabada. No caso das faixas, a modelagem acompanha a triangulação da superfície, garantindo a aderência dos elementos ao pavimento.

O uso desse *plug-in* é uma revolução para a engenharia brasileira, proporcionando a automação de diversas funções e garantindo maior precisão e produtividade. Além da modelagem 3D, estão em desenvolvimento funções que automatizam a definição de *property sets* e a extração de quantitativos.

2.7. Obras de arte especiais e estação de ônibus

O projeto da estação de ônibus Xaxim envolveu os projetos arquitetônico, de fundações, estrutural, hidrossanitário, elétrico e de acessibilidade. Visto que o BIM para edificações já se encontra em um nível mais avançado de desenvolvimento, sua aplicação nesse projeto apresentou poucos desafios quando comparado aos projetos de infraestruturas lineares.

Assim como a edificação, os projetos das obras de arte especiais foram modelados majoritariamente no *Revit* e, por possuírem uma metodologia BIM bem estruturada, seus usos envolveram a modelagem 3D, a associação de propriedades, a verificação automática de incompatibilidades por meio do *clash detection* no *Navisworks* e a validação do orçamento a partir da extração de quantitativos do modelo.

3. Propriedades

Mais do que apenas a visualização 3D, uma das principais características do BIM é a associação de informações aos elementos projetados. Assim, os sólidos gerados em 3D tiveram as propriedades dos serviços relacionados à execução daquele elemento associados ao objeto, de maneira que, ao selecionar um elemento do modelo, é possível visualizar todos os serviços envolvidos na sua execução.

Esse projeto envolveu itens de diferentes tabelas de referência, visto a variedade e complexidade dos serviços, incluindo um orçamento próprio para referenciar serviços que não estavam plenamente contemplados pelas tabelas vigentes.

Abaixo, é representado um exemplo de propriedades associadas as camadas de concreto usinado a quente do pavimento flexível.

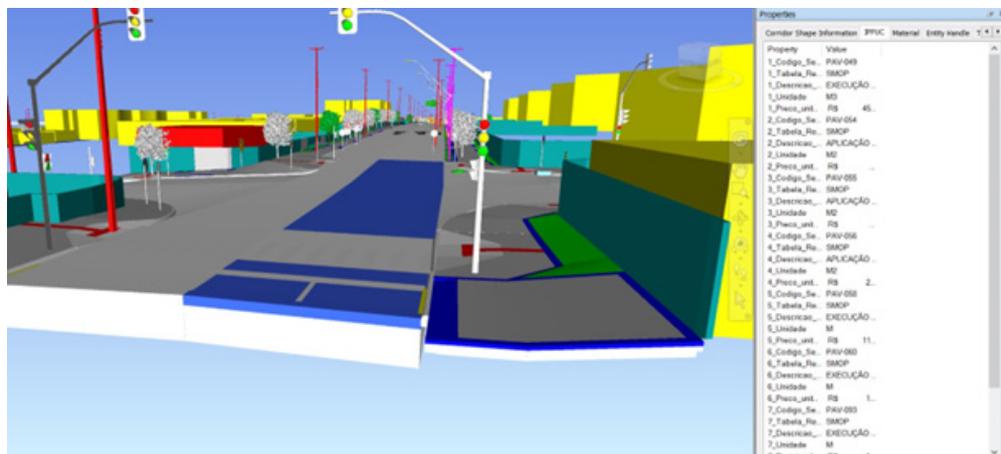
Tabela 2: Propriedades associadas aos elementos

Código	Tabela de referência	Descrição	Unidade	Valor unitário (R\$)
PAV-043	SMOP	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO COM PRÉ-MISTURADO A QUENTE, FAIXA "C" COM BORRACHA – SEM TRANSPORTE	M ³	R\$ 1.518,36
PAV-021	SMOP	IMPRIMAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA CM-IMPRIMAÇÃO (EAI)	M ²	R\$ 7,44
PAV-018	SMOP	PINTURA DE LIGAÇÃO COM EMULSÃO ASFÁLTICA RR-1C	M ²	R\$ 3,09
95876	SINAPI	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 14 M ³ , EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_07/2020	M3XKM	R\$ 2,08

Apesar do desenvolvimento BIM, o serviço de associação das propriedades aos elementos se deu de maneira bastante repetitiva e manual. Para futuros projetos, pretende-se desenvolver uma automação que torne o processo mais rápido e preciso, reduzindo os possíveis erros de troca de propriedades entre os serviços.

Na Figura 5, é possível observar a visualização do elemento no Navisworks em 3D ao lado da sua tabela de propriedades associadas.

Figura 5
Propriedades de uma das camadas do pavimento.



4. Renderização e apresentação

Para proporcionar uma apresentação realista do projeto, o modelo foi renderizado através do *Twin Motion*, a partir da exportação do modelo em um arquivo *Datasmith*. Dentro do software, foi possível realizar a distinção hierárquica das camadas e atribuição de materiais aos sólidos, com elevação e movimento, proporcionando uma representação mais próxima da realidade.

No modelo, também foram adicionadas ações da natureza, como vento e iluminação natural, conforme a localização e horário, além da representação de pessoas e veículos usufruindo dos espaços projetados. Esses atributos proporcionam uma representação mais clara do projeto para o cliente e, principalmente, para a população de Curitiba que será o usuário final. As imagens produzidas poderão ser utilizado pela prefeitura para promover o empreendimento em suas redes sociais ou peças publicitárias, a fim de informar a população sobre o andamento do projeto.

A utilização do *Twin Motion* para renderização de projetos de infraestruturas lineares ainda é recente, por isso o processo é demorado e exige uma máquina com elevada capacidade de memória, em razão da grande extensão e complexidade de detalhes do projeto. O aplicativo tem potencial de explorar diversas funções e disponibilidade de materiais para simplificar a aplicação em infraestruturas lineares.



Figura 6
Renderização da rua
Carlos de Laet.

5. Conclusões e expectativas

Apesar de o BIM para edificações já se encontrar consolidado dentro da empresa a certo tempo, a execução desse projeto de infraestrutura linear em BIM representa um sucesso para a empresa, que tem como visão a busca por qualidade e inovação em seus produtos. Enquanto as ferramentas disponíveis para modelagem de edificações já se encontram em avançado nível de maturidade, ainda existe um *gap* de *softwares* e *hardwares* adaptados para infraestruturas lineares de grandes extensões

que atendam as necessidades de um projeto deste nível mantendo a fluidez do trabalho e a integração entre as equipes.

Por isso, considerando a extensão e complexidade desse projeto, pode-se afirmar que a adoção do BIM e o desenvolvimento de automações foi essencial para o desempenho, qualidade e integração das disciplinas. A visualização 3D com as propriedades associadas proporcionou a detecção de incompatibilidades entre as disciplinas e validação do modelo, que servirá como uma importante ferramenta de suporte para a execução das obras.

O desenvolvimento de automações reduziu as atividades repetitivas e trouxe ganhos na produtividade e confiabilidade do projeto. Esse produto foi um case importante dentro da empresa, servindo de base para o desenvolvimento de ferramentas a serem aplicadas nos próximos projetos, que devem ter processos ainda mais automatizados e com um nível de desenvolvimento cada vez maior. A metodologia BIM pode ter seus ganhos potencializados quando aplicada desde a concepção dos projetos, a partir da coordenação BIM e alinhamento ao Plano de Execução BIM, com contribuição de todos os *stakeholders* e constante atualização conforme as necessidades do projeto.

O modelo desenvolvido representa um primeiro passo para a criação de um gêmeo digital do empreendimento, que ao longo da obra e da vida útil da infraestrutura terá informações atualizadas incorporadas ao modelo, servindo de base para a tomada de decisões ao longo da gestão do empreendimento.

Referências

- [1] McGraw Hill Construction, "The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology". Bedford, 2012.
- [2] Prefeitura de Curitiba, "Projeto de Aumento da Capacidade e Velocidade da Linha Direta Inter 2 aponta para a evolução do transporte público de Curitiba", Brasil. Consultado em Nov. 21, 2023. [Online]. Disponível: <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/especiais/novo-inter-2-caminho-aberto-a-eletromobilidade/18>
- [3] R.A. Brandão e E.A.M. Ferreira, "Aplicação do BIM no estudo de obras de infraestrutura viária e terraplenagem" no *Prêmio de Inovação, Produtividade e Empreendedorismo na Engenharia Civil* (2015), São Paulo, 2015.

Parte IX – Educação BIM

Introdução do BIM no ensino da Arquitetura: Lições aprendidas

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.50>

Francisco Teixeira Bastos¹

¹ CITUA, Centro de Inovação para o Território, Urbanismo e Arquitetura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, ID 0000-0002-8166-7426

Resumo

A proliferação acelerada do BIM no sector da AEC leva a que os futuros profissionais tenham de aprender continuamente novas tecnologias, fluxos de trabalho e protocolos. Essa aprendizagem deve ser iniciada na fase de licenciatura ou mestrado, despoletando um processo de assimilação de conceitos teóricos e de aplicação prática que será aprofundado ao longo da vida profissional.

A introdução do ensino BIM no meio académico, apesar de ser um processo de mudança difícil e de encontrar ainda resistência na sua implementação, torna-se urgente para assegurar que os novos profissionais integrem o mercado de trabalho conscientes e treinados neste paradigma.

Neste sentido, em 2023, criou-se uma Unidade Curricular do 4.º ano do Mestrado Integrado de Arquitetura de BIM, no Instituto Superior Técnico, na continuidade do ensino/aprendizagem de desenho digital e de modelação geométrica 3D, promovido nos anos anteriores. Esta iniciativa visa promover o contacto dos estudantes com o paradigma BIM, tendo por objetivo contaminar gradualmente o desenvolvimento de projeto em todos os anos curriculares e ao longo do tempo, caminhar para um ensino integrado no currículo da escola.

A aprendizagem assenta em três vetores distintos: (1) ensino de fundamentos teóricos do BIM; (2) seminários de apresentação de casos de estudo, por parte de profissionais arquitetos especialistas em BIM, formados no IST; e (3) aplicação do BIM num projeto selecionado de uma edificação existente. É descrita a implementação e a organização da Unidade, são apresentados os resultados obtidos e conclusões que poderão contribuir para implementações idênticas no ensino universitário e melhoramentos futuros.

1. Introdução

A Modelação da Informação da Construção (BIM) consiste numa nova abordagem que transforma por completo tanto a conceção, como a construção e a utilização e manutenção do ambiente construído. É essencial que todas as partes interessadas do sector da construção, arquitetos e engenheiros projetistas, construtores e donos de obra, de entre outros, aprendam a vasta gama de conceitos, ferramentas e fluxos de trabalho que o BIM contempla. É igualmente imperativo promover a formação BIM de todos os atores envolvidos para que possam adquirir os conhecimentos e as competências necessários para gerar produtos BIM e satisfazer os respetivos requisitos [1].

A adoção alargada da Metodologia BIM na AEC e os avanços da 4.^a Revolução Industrial são cada vez mais sustentados por abordagens de partilha e colaboração que, ao entrarem na corrente dominante, têm alterado gradualmente a mentalidade de trabalho e mesmo a necessidade dos modelos proprietários do passado [2].

O processo de ensino/aprendizagem do BIM não pode alhear-se desta abertura, que é essencial para desbloquear estas novas e enormes oportunidades e pode estar relacionada com os próprios dados de construção ou com o acesso aos mesmos. Impõe-se assim que a formação na academia dos futuros arquitetos abranja um vasto leque de conceitos teóricos, tando da metodologia BIM como da sua aplicação de um modo aberto. Igualmente, é necessário que a aprendizagem se sustente numa ligação forte com a indústria que possa demonstrar ferramentas e fluxos de trabalho BIM em ação real. Esta combinação de formações, teórico-práticas, acompanhada por exercícios práticos de modelação geométrica e de informação que reforçam a sedimentação da metodologia apreendida, são a base do programa da nova Unidade Curricular, BIM para a Arquitetura, ministrada no 4º ano do Mestrado Integrado de Arquitetura, no Instituto Superior Técnico, cujo objetivo é o de formar futuros projetistas e profissionais de arquitetura.

Esta iniciativa de inserir uma unidade de BIM no currículo do Mestrado Integrado em Arquitetura, em continuidade com outras unidades que abordam o desenho digital e de modelação geométrica 3D, tem em vista atingir em alguns anos um ensino totalmente integrado no currículo da escola, à semelhança de outras universidades europeias que tiverem um hiato de cerca de 7 anos entre a introdução da primeira Unidade dedicada e o ensino de BIM de forma totalmente integrada [3], [4].

2. O quadro internacional para do ensino de BIM em Arquitetura

Demonstra-se que o facto de muitas Universidades estrangeiras terem adotado o ensino do BIM nos Cursos de Arquitetura na primeira década deste século, permitiu-lhes evoluir na consolidação desse ensino, acompanhando as evoluções tecnológicas e as mudanças consequentes na indústria da AEC, oferecendo hoje programas que integram o BIM no currículo do curso, nomeadamente na Unidade de projeto.

Um caso de sucesso é a evolução dos programas de ensino BIM em Universidades como a *Penn State University*, nos Estados Unidos da América, em que passaram, de uma Unidade BIM oferecida no 2.º em 2004 até ao *Interdisciplinary Collaborative BIM Studio* do 5.º ano, em menos de uma década [5]. Outro exemplo é o da *BSc (Hons) Architecture, University of Salford*, no Reino Unido, que integrou o BIM no plano curricular do curso de arquitetura, desde 2014, onde todos os anos são introduzidos conceitos e ferramentas cada vez mais avançados, desde a conceção até à simulação energética e avaliação de várias hipóteses, com base em fatores que afetam a qualidade do projeto (materiais, estrutura, sistemas de redes e soluções construtivas) [6]. Também em França na *École Nationale Supérieure d'Architecture* de Toulouse, França, a tecnologia BIM surgiu pela primeira vez em 2006 no License - Master en Architecture, durante o 3.º ano de curso, numa unidade curricular optativa e mais tarde foi reforçada por outra unidade curricular de 4.º ano em 2013, onde o BIM é explorado sob várias vertentes, facto que tem aumentado o interesse dos estudantes e promovido alterações ao curriculum [7] ou ainda na *Faculty of Architecture, Czech Technical University*, onde o BIM é ensinado desde 2006, no 1.º e 2.º anos do curso, sendo o último opcional [8].

3. O panorama nacional para o ensino de BIM em Arquitetura

Ao contrário, em Portugal, se o 1.º Fórum Académico BIM, em 2015, evidenciou um nível de implementação muito baixa presença da Metodologia BIM nas instituições universitárias presentes, quer no conhecimento Docente, como na aprendizagem discente, variando entre o ausente e consciente, [9], em investigação recentemente publicada [10] demonstrava-se 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”, concluindo “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 Integrados em Arquitetura para criar recém licenciados capacitados para integrar o mercado de trabalho com conhecimentos BIM adequados às suas necessidades” [11].

A introdução desta Unidade no MA do IST, acompanha o esforço nacional de implementar o BIM no seio dos Mestrados. Apesar de um pouco tardiamente em relação a outros países europeus, americanos e asiáticos que implementaram o ensino do BIM na década passada, são várias as Universidades que oferecem atualmente Unidades de conteúdos BIM para Arquitetura, integradas nos seus Mestrados Integrados. São Exemplo disso a FAUP, com PROJECTO BIM, de 4.º e 5.º Ano [12], FA-UC, com BIM para Arquitetura e Construção, opcional de 5.º ano [13] ou o ISCTE-IUL, com Sistemas de Construção I, de 2.º ano, integrada na área de Tecnologias da Arquitetura [14].

Recentemente, a Universidade do Minho abriu um curso de especialização BIM [15] e o ISCTE passou a oferecer a licenciatura em Tecnologias Digitais, Edifícios e Construção Sustentável, [16]. No entanto, estas ofertas, apesar de aceitarem inscrições de

alunos formados em arquitetura, são autónomas da formação em arquitetura, tendo por objetivo formar BIM-Managers, focados na gestão, afastando-os de uma aprendizagem dirigida para o projetista.

4. BIM para a Arquitetura do MA-IST

De acordo com Techel e Nassar, que em 2007 observaram que uma integração mais abrangente do BIM no ensino produz melhores resultados do que um curso especializado em BIM [17], optou-se, por integrar gradualmente Unidades de conteúdos BIM no Mestrado de Arquitetura do IST, começando por uma Unidade Curricular de BIM semestral optativa (3ECTs) no 4º ano, pelo facto de estar precedida por outras, ministradas em anos anteriores, onde as ferramentas CAD e as ferramentas de modelação são já ensinadas e exercitadas. Por outro lado, entendemos apenas fazer sentido introduzir conteúdos que ligam a conceção com a construção na fase Mestrado, uma fase mais avançada da aprendizagem do projeto.

Dessa forma, acredita-se que o facto de exercitar a modelação geométrica e da informação em simultâneo com a assimilação de conceitos e conteúdos teóricos enquadra-se no modelo teórico da aprendizagem experiencial desenvolvido por (Kolb, 1984) [18], segundo o qual toda a aprendizagem - a absorção de conhecimentos - implica a criação de estruturas mentais, ou processos reflexivos, a partir da experiência.

4.1. Objetivos da Unidade Curricular

Esta UC tem por objetivo principal, enquadrar disciplinarmente a Arquitetura associada à exploração do projeto pelas ferramentas computacionais, através da adoção de uma nova metodologia de trabalho, cada vez mais presente na prática da indústria da AEC. Esse facto implica que os estudantes adquiram, por meio dessa tecnologia capacidades de organização, modelação, trabalho colaborativo e consciência individual do seu papel, enquanto parte de um grupo.

Igualmente, transmitir e sedimentar os seguintes conceitos da metodologia BIM, associada ao desenvolvimento de projeto de arquitetura: ciclo de vida da construção, modelo de informação paramétrico, modelação orientada por objetos; objeto, classe ou família, nível de maturidade BIM, entre outros.

Desenvolver capacidades de conceção pelo domínio dos elementos-base modeladores da forma arquitetónica por via digital, da inserção da informação nesses elementos e das relações entre essa informação e a passagem do projeto à sua concretização real. Também, exercitar o domínio da tridimensionalidade, da visualização e da comunicação de formas e estruturas espaciais de forma integrada, contendo informação para a construção e desenvolver capacidades de reflexão, pesquisa e autoaprendizagem; geração, registo e transmissão de ideias e soluções.

Procura-se assim atingir que os estudantes desenvolvam ou aperfeiçoem as seguintes capacidades: a) análise crítica e reflexiva das vantagens e constrangimentos da

metodologia BIM, face às metodologias tradicionais, b) emprego da metodologia BIM nas suas múltiplas vertentes de planeamento do projeto, de organização e estruturação da informação e da correta modelação dos elementos da construção, incluindo a criação de famílias de objetos, e a inclusão da informação requerida nos entregáveis.

4.2. Metodologia de ensino

Na Unidade proposta, o método de ensino/aprendizagem assenta em três vetores distintos que se complementam: (1) o ensino de fundamentos teóricos do BIM; (2) a apresentação de casos de estudo da indústria, por parte de profissionais arquitetos especialistas em BIM, formados no IST; e (3) a aplicação da metodologia BIM num projeto selecionado de uma edificação existente. Dado a Unidade pertencer ao 2.º ciclo, esta é lecionada em língua inglesa.

Metodologicamente, optou-se por acionar todos os vetores em simultâneo, sendo atribuído, em um período idêntico de 1 hora, em cada aula semanal. As matérias teóricas cruzam-se com as apresentações dos especialistas, de forma articulada, de modo que sejam apresentadas práticas que, progressivamente vão apresentando maior complexidade de matérias envolvidas. A componente prática assenta no pressuposto que cada hora de experimentação em sala de aula é complementada por duas a três horas de estudo autónomo de desenvolvimento do projeto.

O projeto baseia-se em projetos de habitação unifamiliares simples em que todas as unidades desenvolvidas fazem parte de um mesmo conjunto. A partir de um conjunto de projetos reais, em que existem bases desenhadas da arquitetura e das estruturas, os estudantes têm de os modelar nas várias fases de desenvolvimento, partindo da modelação do terreno e implantação de volumetria, passando pelo desenvolvimento de objetos BIM, até à fase de definição de detalhe construtivo e dos materiais. Cada tipologia de habitação e respetivas repetições é desenvolvida em grupos de 4 ou 5 estudantes, assegurando a prática de abordagens de partilha e colaboração, sendo da responsabilidade do grupo a coerência de todo o material produzido, compreendendo o modelo BIM, a organização da informação para ser partilhada e as entregas de informação em formato PDF.

4.2.1. Vertente teórica

Esta UC tem carácter preparatório da transição do processo de Projeto de Arquitetura em meio académico para o meio profissional. Procura-se mostrar a extensão e os limites da abordagem da Arquitetura por via de processos digitais.

A vertente teórica tem por objetivo dar a conhecer aos estudantes todas os conceitos que compõem a metodologia BIM para que compreendam que a mudança para o paradigma digital acarreta uma série de mudanças operativas, de ferramentas, de fluxos, mas acima tudo de *Mindset*. Os conteúdos dividem-se em três grandes áreas: a) Enquadramento Disciplinar, b) Forma Arquitetónica e c) Processo Digital de Projetar em Arquitetura.

Em termos organizacionais, os conteúdos teóricos, dividem-se em 11 Módulos que se distribuem pelas 14 semanas do semestre, deixando umas sessões livres para momentos discussão e avaliação conjuntas.

Tabela 1: Módulos de conteúdos programáticos da UC

1	Why BIM - BIM is not software. Communication Process
DISCIPLINARY FRAMEWORK	
2	What is BIM - basic concepts: Process, Tools, Paradigm, Parametric, Information Model, construction Lifecycle
3	BIM Requirements , Terms and Definitions
4	BIM Maturity Levels – Policies, Processes and Technology
ARCHITECTURAL FORM	
5	BIM OBJECTS (FAMILIES) – How does it work. Generating and modelling elements, Object oriented modelling
6	Classification of Information – reglementary basis
DIGITAL PROCESS OF PROJECTING IN ARCHITECTURE	
7	BIM Functions and Uses – for what purpose we do a model
8	Project Structuring – Structure of information. Concept of Process Map (IDM)
9	Levels of Information – Project Phases. Level of Detail and Level of Development (LOD) Exchanges od Information.
10	Simulation and sustainability – Practical cases
11	BEP – BIM Execution plan. BIM Standardization

4.2.2. Vertente de casos de estudo da indústria

Tendo a percepção que a Indústria da AEC se antecipou à academia no que diz respeito à adoção BIM, em particular, que a Internacional igualmente se antecipou em relação à nacional e que os estudantes do IST têm tido, desde o início do curso de Mestrado em Arquitetura uma aceitação muito grande nos mercados de trabalhos especializados, quer nacionais, quer internacionais, a organização das apresentações teve por base uma *call*, por via do LinkedIn, em que se questionou a disponibilidade e o interesse em antigos estudantes do Instituto Superior Técnico, partilharem com os estudantes da UC, as suas experiências em trabalhar dentro da Metodologia BIM.

Das 13 respostas obtidas, 9 foram viabilizadas e organizadas em função da dimensão da estrutura em que operavam e do tipo de conteúdos que desenvolvia, articulando-as com a cadência dos conteúdos teóricos. Destaca-se a importância de cinco destes arquitetos trabalharem na área de projeto de arquitetura e seis trabalharem em empresas de grande projeção e impacto no desenvolvimento de soluções BIM, das quais, duas cumulativamente na área do projeto de arquitetura.

Outros profissionais, não formados pelo IST também responderam ao desafio, quer por convite direto, quer por via da plataforma, demonstrando o interesse que quem está no meio profissional tem em participar em ações de formação e divulgação do BIM. Das várias respostas, foram selecionados quatro oradores que perfaziam áreas não abordadas: dois que desenvolveram as potencialidades das ferramentas digitais de modelação, um que expôs a prática da utilização do BIM na construção,

nomeadamente na fase de preparação e construção e uma oradora que expôs as potencialidade do BIM na simulação e controlo de sustentabilidade da edificação, ao nível do projeto.

Tabela 2: Oradores convidados por parte da Indústria, que apresentaram casos de estudo

Arquitectos Oradores	Nome	Empresa			Projeto		consultoria		Saúde
	Empresa	Própr	Nacion	Estrang	Arq	Eng	Constr	Tecn	(Proj const)
Mariana Bobone	Lato Project	0	0		0				
Duarte Pape	Paralelo 0 Architect.	0	0		0				
João Pedro Fonseca	Quadrante		0		0				
Sara C N Morgado	RH+ Architect.			0	0				
Mariana Duarte	J. Nouvel Architect			0	0				
Raquel M. Santos	Bollinger+ Grohman			0		0			
Car. Passos -Anishetty	Mace			0			0		
Pedro Alvito	Trimble Consult.			0				0	
Rita Nogueira	Vamed			0					0
Gonçalo Valente	IN BIM		0		0				
Pedro Ferreirinha	HCI Constr.		0		0	0			

Outros Oradores	Nome empresa	Empresa Estrangeira	Consultor,implement e formação soluções Fabricante Software	Centro Universitário Investigação
M Teresa Ferreira	Ceris-IST			0
Nuno Santos	ASIDEK	0	0	

Com este leque de oradores, conseguiu-se abranger a maioria dos tópicos importantes da metodologia aplicados na prática, tanto nas fases de projeto, como da construção, como ainda da exploração.

4.2.3. Vertente prática

A vertente prática, demonstrou-se de início bastante ambiciosa, pois baseou-se no princípio de que a matéria aprendida anteriormente em outras UCs seria imediatamente utilizada na resolução de problemas no BIM para a Arquitetura. A expectativa seria a de que os estudantes fossem incluindo os ensinamentos dos conteúdos teóricos no exercício de projeto, para alcançar o objetivo principal inicial de obter modelos de informação BIM, organizados e consistentes, das habitações unifamiliares que desenvolveram.

Para esse efeito, também a vertente prática foi desenhada de modo a ter o apoio de uma antiga aluna do MA do IST, que domina o software já utilizado pelos estudantes com acesso livre pelo IST, o REVIT, e assegurou assim o papel de agilizar o uso dos conhecimentos anteriores e atualizá-los no que diz respeito ao uso da ferramenta.

Foram disponibilizadas as bases de arquitetura e estruturas de quatro projetos Tipo distintos de habitação unifamiliares térreas T3, com uma área de cerca de 140 m², bem como o levantamento topográfico e os arruamentos do conjunto. Neste caso, cada projeto Tipo é repetido cinco vezes, ao longo de um arruamento, facto que criou a oportunidade que cada grupo desenvolvesse uma tipologia definida previamente tanto em trabalho colaborativo como de modo individual, possibilitando uma avaliação ampla de diferentes critérios para cada grupo de projetos.

Acompanhando o decorrer das aulas teóricas e dos casos de estudo, a atividade prática desenvolveu-se, progressivamente, numa primeira fase, a modelação do terreno, dos arruamentos, das plataformas de implantação das habitações e jardins e as volumetrias das habitações num modo genérico, extraíndo-se quantidades de terreno modelado, de área e volumetria de construção.

Numa segunda fase desenvolveram-se todos os projetos gerais das habitações e definiram-se elementos de construção tipo observados nos projetos reais – portas exteriores e interiores, janelas, envidraçados, equipamentos fixos, etc. – tendo em atenção o nível de desenvolvimento (LOD) requerido para esta fase, não só para o modelo em três dimensões como principalmente no controlo das peças desenhadas de plantas, alçados e cortes que constituem os entregáveis regulamentares num projeto de Licenciamento. Nesta fase e na sequente os grupos foram solicitados para apresentarem um mapa de processos da atividade de projeto, no que consistia às tarefas individuais e de grupo que foram sendo atualizados até ao final do processo.

A terceira fase consistiu na adequação do projeto geral às modificações solicitadas pelas definições de projeto de execução, relacionadas com a definição de espessuras de materiais e essencialmente com o confronto com o projeto de estruturas. Permitiu aos estudantes terem a consciência, através do *Clash detection*, da importância da compatibilização das diversas especialidades, o mais cedo possível no processo de conceção.

À medida que se foram aprofundando os projetos e de forma conciliada com a progressão de conteúdos teóricos, introduziu-se a necessidade de organizar os conteúdos digitais para desenvolver de forma correta o trabalho colaborativo, nomeadamente, para a criação do *Common Data Environment* e na estruturação da organização de pastas de cada elemento do grupo, apesar de não se ter conseguido nenhum software sem encargos financeiros para utilizar se trabalhar com CDE. Todo o trabalho colaborativo foi efetuado dentro das soluções *Autodesk* estudante, tendo sido utilizado como sistema de trocas de informação a Google Drive.

A quarta fase, consistiu no detalhamento dos nós construtivos definidores da especificidade de cada situação arquitetónica, por habitação, tarefa que foi desenvolvida

individualmente, a partir da observação do projeto e da respetiva escolha dos nós que foram considerados imprescindíveis para a correta construção de uma arquitetura de qualidade.

A última fase, a fase de síntese e fecho do projeto, resultou na elaboração de um *booklet* por grupo onde foram reunidos: a) os momentos-chave de cada um dos processos individuais e de grupo de projeto, b) os entregáveis das fases de projeto geral e projeto de execução, c) os mapas de processos e d) a estrutura das pastas digitais.

A atividade prática da UC conclui-se com a apresentação por parte de cada grupo de todo o processo e dos resultados obtidos, bem como de uma discussão do funcionamento da UC, que se apresentou como de carácter experimental, em função das expectativas dos estudantes, da própria pertinência da sua existência no Mestrado Integrado e das possibilidades que a mesma abre para a inserção no mercado de trabalho.

A avaliação dos resultados do processo de projeto acompanhou as respetivas fases de desenvolvimento, sendo discriminados os critérios em avaliação em grelha própria. A apresentação dessa grelha teve como objetivo cada estudante ter a perceção da sua performance e das suas maiores dificuldades, podendo corrigir na fase seguinte.

Estava previsto que em cada fase se podia melhorar as entregas das fases anteriores, sendo conseqüentemente revista a avaliação, com o objetivo das avaliações não apresentarem um carácter punitivo. No entanto, este aspeto não foi trabalhado por nenhum estudante.

Tabela 3: Grelhas de critérios de avaliação por fases de desenvolvimento do projeto

PHASE 1 - 20%								Final PH 1	
Model	Collaboration	Process	Presentation	Delivery	Comments				
PHASE 2 - 40%								Final PH 2	
Building Pads	Floors	walls	Ceilings/ roofs	Family	Process	Deliver	Written assessment		
PHASE 3 - 40%								Final PH 3	
Compatibilization		Detail		Organ- ization	Booklet				Oral Present
Struct Arch + Struct	Detail Struct	info 2D	Info 3D		Project Deliver	Colabor ation	Process Comun ication		

4.3. Resultados

A comparação entre os resultados obtidos e a perceção dos estudantes obtida, quer pela discussão final quer pelos questionários formais dirigidos aos alunos, que o IST elabora no final do semestre, permite elencar uma série de considerações.

Em primeiro lugar, importa evidenciar a grande receptividade que os alunos tiveram à aprendizagem da metodologia BIM. Essa abertura foi acompanhada por uma constatação de que o BIM é uma metodologia que para ser dominada, importa ter bons conhecimentos teóricos sobre a mesma, aliados a uma proficiência no uso das

ferramentas digitais de modelação, de cálculo, de gestão da informação e de simulação, tendo um conhecimento alargado e constantemente atualizado de softwares. Só dessa forma se conseguem obter os conhecimentos e as competências necessários para gerar produtos BIM, satisfazendo os respetivos requisitos.

Os estudantes evidenciaram várias lacunas nos conhecimentos anteriormente adquiridos, necessários para corresponder convenientemente a uma UC que liga intimamente arquitetura a engenharia e a construção, facto que funcionou muitas das vezes como um constrangimento a uma progressão com maior ritmo. Em particular, o Esquicho foi utilizado como ferramenta de compreensão das situações construtivas antes de passar à sua modelação digital, facto que diminuiu o erro e o tempo de operação dos modelos BIM.

A falta de bases de conhecimento construtivo e tecnológico resultou em alguma dificuldade em assimilar alguns conteúdos teóricos, tendo os estudantes considerado que se apresentavam demasiadamente abstratos para serem utilizados. No entanto, foi reconhecido que quando eram convocados para a utilização dos novos conhecimentos na prática no exercício de projeto, demonstrou-se a tendência de nunca mais serem esquecidos.

Como consequência da falta de tempo de assimilação desses conteúdos, observou-se que todos os trabalhos entregues em todas as fases demonstraram falhas em alguns aspetos, variando de aluno para aluno, facto que não é alheio ao método adotado do “aprender, fazendo” que se crê ter maiores resultados pedagógicos na apreensão do erro como modo de aprendizagem.

Em relação à organização da UC, os estudantes apresentaram uma apreciação muito positiva quanto à lecionação do programa previsto (83%), à sua estruturação (67%), à bibliografia e materiais de apoio que foram considerados muito adequados (83%) e ao método de avaliação (91%), centrado na aplicação dos conhecimentos no desenvolvimento do projeto.

A maioria considerou ainda que a UC contribuiu bastante para a aquisição e desenvolvimento das competências, especificando sempre muito positivamente o facto de contribuir para: a) desenvolver o conhecimento e compreensão do BIM (100%), b) aumentar a capacidade de aplicar o conhecimento adquirido sobre o tema (84%), c) desenvolver o sentido crítico e a capacidade de reflexão sobre o BIM (92%), d) promover a capacidade de cooperação e comunicação (83%) e finalmente e), aumentar a capacidade de aprendizagem autónoma (92%).

Como resultado global da UC os estudantes comprometeram-se em tentar aplicar a metodologia no desenvolvimento do projeto final de 5.º ano, por terem entendido as vantagens de trabalhar de forma integrada em relação aos métodos tradicionais, facto que ainda se encontra por apurar.

5. Conclusões

O carácter experimental com que a UC foi apresentada conseguiu obter junto dos estudantes uma grande disponibilidade para a aquisição de novos conhecimentos. O seu empenhamento em corresponder positivamente ao desafio de incluir os ensinamentos dos conteúdos teóricos no exercício de projeto, teve como consequência que se obtiveram resultados muito satisfatórios na generalidade dos casos. Transmitiram que conceber e projetar arquitetura, modelando e dominado a informação produzida, permite um maior controlo e coerência do projeto.

No entanto, a consciência da dificuldade da conciliação dos conteúdos teóricos com a prática da metodologia BIM, alertou-os para o facto de uma necessidade constante de formação e atualização de conteúdos: tecnológicos, técnicos e legais.

Em conclusão, considera-se a experiência francamente positiva e a ser continuamente aperfeiçoada. Tendo em vista que a UC foi concebida com o intuito de formar futuros projetistas de arquitetura em BIM, e tendo a convicção que, em geral, o estudante de 4º ano do curso de arquitetura ainda não tem conhecimentos suficientemente consolidados da relação da arquitetura com a engenharia e a construção, apontam-se vários aspetos a serem melhorados na próxima edição: a) criar um Módulo inicial de relação da arquitetura com a engenharia e a construção, como modo de sensibilizar os estudantes para a necessidade de dominar as interdependências criadas; b) introduzir pequenos questionários de avaliação de conteúdos teóricos após três conjuntos de módulos que relacionem os conceitos com a sua aplicação prática, para aferição da aquisição dos mesmos e c) introduzir maior variedade de ferramentas de modelação para praticar mais largamente o trabalho colaborativo em modo aberto.

Espera-se que a aprendizagem dos erros cometidos permita, num futuro próximo, uma consolidação efetiva do modo de veicular a metodologia BIM ao ponto de poder interligar-se com as UCs de Projeto de Arquitetura. Apenas desse modo se caminhará para a integração plena no Currículo do Mestrado em Arquitetura do IST, acompanhando a tendência das Universidades dos países mais desenvolvidos nessa área, passo imprescindível para estar a par dos avanços que a indústria e a regulamentação nacional estão a dar.

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UIDB/05703/2020 da unidade de investigação CiTUA.

Referências

- [1] Succar, B (2012) BIM Education. Bim In Practice. Australian Institute of Architects
- [2] Sakkas, N., Yfanti, S. (2021). Open data or open access? The case of building data. Academia Letters, Article 3629. <https://doi.org/10.20935/AL3629>.
- [3] Vinšová, I., Achten, H.; Matějovská, D., (2015) Integrating BIM in Education: Lessons Learned, CAAD Education – Applied – Volume 2, Czech Technical University in Prague
- [4] Pillay, A. N., Gumbo, B. T., Musonda, C. I., (2019), Discovering the level of BIM Implementation at South African Architecture Schools: A qualitative study Creative Construction Conference 2019, Budapest, Hungary
- [5] Pepe, M., Resende, R. & Pinto, P. (2018). O BIM no ensino da arquitetura em Portugal: o caso do ISCTE-IUL. In António Aguiar Costa, Miguel Azenha (Ed.), 2.º congresso português de Building Information Modelling. (pp. 674-656). Lisboa
- [6] Idem
- [7] Idem
- [8] Vinšová, I., Achten, H.; Matějovská, D., (2015) Integrating BIM in Education: Lessons Learned, CAAD Education – Applied – Volume 2, Czech Technical University in Prague
- [9] Bastos, F. T., Costa, A. A., “O Ensino do BIM em Portugal”, Construção Magazine no 69, Porto, pp. 40-46, Sep-2015
- [10] Rua, C., Bastos, F.T, Costa, A.A., (2022) Coleção Atas. vol. 1. do 4.º Congresso Português de Building Information Modelling. Miguel Azenha, José Carlos Lino, José Granja, Bruno Figueiredo, João Poças Martins (editores), pp. 38-49.
- [11] Idem
- [12] https://sigarra.up.pt/faup/pt/UCURR_GERAL.FICHA_UC_VIEW?pv_ocorrencia_id=472366
- [13] <https://apps.uc.pt/courses/PT/unit/94843/22123/2023-2024>
- [14] <https://fenix.iscte-iul.pt/disciplinas/03824/2024-2025/1-semester/fuc?locale=pt>
- [15] <https://civil.uminho.pt/ensino/cursos-de-especializacao/curso-bim/>
- [16] <https://www.iscte-iul.pt/course/409/bachelor-bsc-in-digital-technology-and-sustainable-built-environment/studyplan>

- [17] Techel, F and Nassar, K 2007 'Teaching Building Information Modeling (BIM) From a Sustainability Design Perspective', Em'body'ing Virtual Architecture: The Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2007), 28-30 November 2007, Alexandria, Egypt, pp. 635-650
- [18] Kolb, D. (1984) *Experiential Learning*, Englewood Cliffs, New Jersey

Projeto imersivo e novas competências digitais no contexto da reabilitação e valorização do património

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.51>

José Santos¹, Patrícia Escórcio²

¹ *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia, Departamento de Engenharia e Geologia. CONSTRUCT-LABEST, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. ORCID: 0000-0002-8134-0925. Email: jmmns@fe.up.pt*

² *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia, Departamento de Engenharia e Geologia. ORCID: 0000-0002-0038-162X*

Resumo

O uso de ferramentas imersivas no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção, Operação) tem vindo a crescer à medida que são disponibilizadas novas ferramentas (software e hardware) a custo competitivo. Estas ferramentas apresentam potencialidades para o projeto, construção, reabilitação, manutenção, operação de edifícios, assim como permitir a criação de novos produtos, como visitas virtuais ou reconstruções históricas virtuais. Contudo, um dos problemas atuais prende-se com a falta de formação dos profissionais nesta temática. Deste modo, neste artigo, apresentam-se os quatro resultados do projeto ID4Ex, que teve como principal objetivo (terceiro resultado) a criação de um curso de formação gratuito na temática do projeto imersivo e novas competências digitais no contexto da reabilitação e valorização do património. O curso é composto por sete módulos, quatro de cariz mais tecnológico e três módulos de cariz mais transversal.

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem levado a que cada vez mais tarefas diárias sejam realizadas num ambiente digital. O impacto tem sido tal, que atualmente estamos a experienciar uma nova revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0 [1].

Também no setor AECO, embora de forma desigual entre países e entre parceiros dentro do mesmo país, a digitalização tem provocado alterações relevantes na forma de trabalhar dos seus profissionais. Algumas das tecnologias mais usadas no setor AECO são: veículos aéreos não tripulados, manufatura aditiva, aprendizagem de máquina, robotização, internet das coisas, realidade virtual, inteligência artificial, sistemas de informação geográfica, análise de dados e a modelação da informação na construção (BIM), entre outras. Dada a grande oferta de tecnologias digitais no setor AECO, tem sido adotado o conceito de Construção 4.0 para se referir a esta nova era. Para que algumas destas tecnologias possam funcionar outras mais transversais têm de existir, como: dispositivos móveis, assinaturas digitais, sistemas de gestão de documentos, sistemas de posicionamento global, redes sem fios, deteção remota (ex: LiDAR), computação em nuvem, etc. [2, 3].

Algumas das tecnologias referidas anteriormente são consideradas imersivas, isto é, emulam o mundo físico criando a sensação de presença no local (imersão), o que possibilita uma análise muito mais realista. Apesar do conceito já existir desde meados do século passado, onde diversas tecnologias para este fim foram exploradas, só com o enorme desenvolvimento da indústria dos videojogos nas últimas décadas, a mesma ficou facilmente acessível a todos e numa escala reduzida, em comparação com uma sala de cinema, por exemplo. No setor AECO, diversas análises têm sido publicadas acerca do uso destas tecnologias, apontando desafios [4], limitações, necessidades [5] e riscos de implementação [6].

Embora não exclusivo, as principais tecnologias imersivas usadas no contexto do setor AECO têm sido a Realidade Virtual (RV) [7], a Realidade Aumentada (RA) [8], a Realidade Mista (RM), todas quase sempre apoiadas em modelos BIM (que por sua vez, no caso de património existente, são frequentemente obtidos com apoio da deteção remota), assim como a telepresença e os gémeos digitais. Recentemente, as três primeiras foram agrupadas na Realidade Estendida [9]. Até ao momento, as atividades do setor AECO com maior aplicação de tecnologias imersivas têm sido: a formação [10], reuniões / revisão de projeto / obra [11], reuniões online, planeamento da construção [12], segurança na construção [13], simulação de desastres (incêndio [14], sismos [15], etc.), reconstrução / preservação virtual [16], visitas virtuais [17], operação e manutenção de edifícios / infraestruturas [18], planeamento urbano [19], criação de vídeos promocionais e produção de videojogos.

Por outro lado, nos países desenvolvidos, uma parte relevante da atividade do setor AECO tem sido na reabilitação do património (edifícios e infraestruturas) existente, seja por iniciativa particular ou por imposição política (ex: *Renovation Wave* e

NextGenerationUE), seja para melhoria do desempenho [20] ou para valorização cultural [21].

Neste tipo de projeto / obra há particularidades adicionais a ter em conta, comparando com uma obra nova, como sejam: o facto de o património já existir, a geometria ser frequentemente complexa, o estado de conservação ser muitas vezes mau, podem existir elementos com valor patrimonial / arquitetónico / cultural que têm de ser preservados, e as técnicas construtivas e os materiais utilizados na sua construção já não se utilizarem atualmente. Note-se que estas particularidades condicionam bastante as opções de projeto e a realização da obra.

Neste contexto, o uso de tecnologias imersivas pode contribuir para a diminuição de algumas das dificuldades acima referidas, sendo por isso ferramentas cada vez mais fundamentais em cenários de projeto / obra de reabilitação do património existente.

No entanto, note-se que no setor AECO a utilização das ferramentas imersivas anteriormente referidas está ainda longe de ser uma prática comum no dia a dia. Não só por serem ainda relativamente recentes, mas também e sobretudo por a maioria dos profissionais do setor não ter formação adequada para a sua utilização plena. Numa outra perspetiva, como as ferramentas digitais têm transformado a forma de trabalhar dos profissionais do setor AECO importa também qualificá-los para esta nova realidade.

De forma a contribuir para a formação dos profissionais do setor AECO em tecnologias imersivas no contexto da reabilitação e valorização do património foi realizado um projeto Erasmus+ designado de ID4Ex - *Immersive Design and New Digital Competences for the Rehabilitation and Valorization of the Built Heritage*, cujo principal resultado foi a criação de um curso de formação gratuito nesta temática. Assim, neste artigo são descritas as componentes principais (objetivos, parceria, resultados e divulgação) deste projeto, com especial destaque e análise crítica dos seus resultados.

2. Descrição do Projeto ID4Ex

O projeto ID4Ex, sendo um projeto Erasmus+ do tipo KA220 (Parcerias Estratégicas no Ensino Superior) cofinanciado pela União Europeia, envolveu primeiramente parceiros europeus do Ensino Superior, nomeadamente universidades, complementado com outros parceiros. Assim, o consórcio incluiu oito parceiros: quatro universidades (duas de Engenharia Civil e duas de Arquitetura), duas associações de profissionais / especialistas em edifícios, uma escola técnica profissional e uma empresa tecnológica. A nível geográfico, os parceiros estão distribuídos por cinco países diferentes: Irlanda, Itália, Polónia, Portugal e Turquia. O líder do projeto foi a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Tecnologia de Varsóvia.

O objetivo geral do projeto consistiu em contribuir para a digitalização e a modernização do setor da construção através da atualização de competências e através de uma abordagem inclusiva à intervenção no património construído, utilizando novas

tecnologias digitais, nomeadamente realidade virtual, experiência interativa imersiva e modelação 3D avançada. Relativamente ao público-alvo, são todos os profissionais (técnicos, arquitetos, engenheiros, docentes) do setor.

O projeto produziu quatro resultados, apresentados e discutidos na Secção 3, nomeadamente: i) estudo comparativo sobre aplicações de tecnologias imersivas para a reabilitação e valorização do património construído, ii) plano de curso de formação (em especialista em projeto imersivo), iii) curso de formação (composto por sete módulos), e iv) testes piloto do curso de formação. Todos estes resultados podem ser consultados no site do projeto: <https://id4ex.il.pw.edu.pl/>, estando o ii) e o iii) disponíveis em português. No final do projeto decorreram diversos eventos de divulgação dos resultados.

O projeto decorreu durante 26 meses, terminando em dezembro de 2023. Ao longo deste período, a metodologia de trabalho coletiva consistiu em reuniões presenciais onde as principais decisões e resultados individuais e coletivos eram discutidos, complementado com diversa formação inter pares, seguindo-se posteriormente reuniões mensais online de acompanhamento e monitorização. Ao longo deste período, os resultados do projeto foram anualmente avaliados por grupos de peritos de cada país, sendo cada grupo composto por pelo menos 10 profissionais (académicos e não académicos).

3. Resultados do Projeto ID4Ex

3.1. Estudo comparativo sobre aplicações de tecnologias imersivas

O primeiro resultado do projeto teve como função retirar informações relevantes para a elaboração dos segundo e terceiro resultados (Secções 3.2 e 3.3). Assim, utilizando 19 casos de estudo onde foram utilizadas tecnologias imersivas na reabilitação do património, foram primeiramente identificadas: tecnologias aplicadas, metodologias de trabalho, atividades, objetivos e contexto das intervenções, questões de sustentabilidade, intervenientes envolvidos (número e competências), utilizadores finais, análise SWOT, lições aprendidas, entre outras. Posteriormente, tendo em mente o segundo resultado, estas informações foram compiladas e analisadas de modo a identificarem-se as principais tecnologias imersivas utilizadas e as competências dos profissionais envolvidos.

Quanto às tecnologias verificou-se uma grande diversidade (40) de software e hardware utilizado, sendo que a maioria não é imersiva, mas contribui para que algures no processo de trabalho seja criado ou utilizado algo puramente imersivo. Relativamente às competências (Tabela 1), também em número elevado (25), estas foram divididas em: digitais (inovação e técnicas), transversais (analíticas, gestão e interpessoais) e verdes (sustentabilidade).

Tabela 1: Competências necessárias para os profissionais

	Categoria	Competências
Digitais	Inovação	<ul style="list-style-type: none"> – Pesquisa: atualização sobre a evolução da tecnologia e conceito – Pensamento criativo e imaginação
	Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> – Competências de projeto – Competências de construção e reabilitação – Conhecimento sobre tecnologias imersivas, seu uso e impacto – Uso de software específico – Levantamento e medição avançados – Conhecimento do enquadramento legal – Análise do impacto da intervenção na comunidade e no contexto
Transversais	Analíticas	<ul style="list-style-type: none"> – Identificação de problemas, riscos e soluções – Análise de Contexto: Análise SWOT, Análise PESTEL – Resolução de problemas complexos
	Gestão	<ul style="list-style-type: none"> – Gestão de projetos e tempo – Tomada de decisão – Negociação – Coordenação e colaboração – Competências financeiras – Angariação de fundos
	Interpessoais	<ul style="list-style-type: none"> – Competências interpessoais: interação com colegas de trabalho, partes interessadas e beneficiários do projeto/intervenção – Competências de comunicação – Flexibilidade – Inteligência emocional, empatia, consciência cultural
Verdes	Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> – Métodos/materiais alternativos de construção: reutilização de materiais, independência energética – Técnicas de construção de baixo impacto – Projeto circular

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado pode-se referir que a metodologia de recolha da informação utilizada, baseada em casos reais, tem alguns benefícios, no entanto, como se limitou a apenas alguns casos de estudo em cada país do projeto, ficou com um âmbito muito reduzido, pelo que no futuro se aconselha o uso de uma metodologia mais próxima da que é realizada no estado da arte dos artigos científicos, com revisão sistemática da literatura. Quanto à informação recolhida, o inquérito original mostrou ser extenso, com demasiados campos, em que muitos deles acabaram por ser irrelevantes para o objetivo do projeto.

3.2. Plano de curso de formação

O segundo resultado do projeto consistiu na criação do plano de um curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património. Em função da informação recolhida no ponto anterior, o documento começa por introduzir o conceito de projeto imersivo, define o perfil e funções de um especialista em projeto imersivo, sugere uma metodologia preferencial para o ensino deste curso: aprendizagem mista (*blended learning*) e identifica os níveis do Quadro Europeu de Qualificações (QEF) que se pretende atingir.

Em seguida, o documento apresenta os sete módulos de formação do curso, sendo os primeiros quatro módulos de cariz mais tecnológico e os últimos três módulos de

cariz mais transversal (ver detalhe na Secção 3.3). À semelhança do que acontece com qualquer unidade curricular de um curso superior, foram definidos para cada módulo (Figura 1): área científica, público-alvo, descrição e objetivos gerais, objetivos de aprendizagem, conteúdos programáticos, tempo de formação, ferramentas utilizadas, metodologias pedagógicas, metodologias de avaliação, pré-requisitos e bibliografia.

Figura 1
Conteúdos do
Módulo M1.

Título	Tecnologias imersivas para construção, operação e manutenção em contexto de património		
Área Científica	Tecnologias digitais aplicadas à construção		
Público-alvo principal	Estudantes inscritos nos programas de Licenciatura, Mestrado e Doutoramento em Arquitetura, Design de Interiores, Engenharia Civil, Gestão da Construção, Restauro, Arqueologia e Património		
Descrição do módulo e objetivos gerais	Estud. de C. Cult.	3. Tecnologias imersivas para operação e manutenção do património a. Operação: introdução à IoT e RFID, introdução ao gêmeo digital, plataformas imersivas para operação do património (edifícios, equipamentos, pessoas, espaços, etc.), KPIs. b. Manutenção: introdução à gestão de instalações, introdução ao CMMS, plataformas imersivas para manutenção do património (tutoriais imersivos, assistência remota, etc.). 4. Trabalho Dirigido	<ul style="list-style-type: none"> Analisar software e hardware imersivos a serem utilizados na construção. Ilustrar tarefas de manutenção com base em cenários imersivos. Competências: <ul style="list-style-type: none"> Adaptar as empresas (realizar formação, selecionar software e hardware) para o uso de tecnologias imersivas durante a construção, manutenção e operação do património. Avaliar o uso de tecnologias imersivas para construção, manutenção e operação do património.
Tempo de formação / aprendizagem	Tempo de formação / aprendizagem	Te in	
Conteúdo do módulo	1. E 2. T a b c	Ferramentas necessárias para realizar o módulo (TIC, equipamentos, etc.) Objetivos de Aprendizagem (LO)	Métodos pedagógicos utilizados (autoestudo, trabalho em grupo, ensino à distância, etc.) Palestras frontais, Ensino à distância, Teleconferências, Trabalhos em grupo, Quadros interativos digitais, LMS de código aberto, Ambientes de projeto digital multutilizador on-line imersivos (IOMUDE) Avaliação formativa e sumativa A avaliação pode ser realizada medindo fatores que expressam o desempenho e a experiência do estudante em alcançar um LO. A avaliação pode ser realizada por meio de pesquisas online, questionários, avaliação do desempenho do estudante, avaliações de resultados, comentários escritos e orais durante e após o curso. Pré-requisitos M1 - Tecnologias e ferramentas imersivas M2 - Levantamento digital e protocolos de digitalização para BIM Correquisitos Nenhum Bibliografia <ul style="list-style-type: none"> Alcinia Zita, S. (2018). Enhancing BIM Methodology with VR Technology. In M. Nawaz (Ed.), State of the Art Virtual Reality and Augmented Reality Knowhow (pp. Ch. 5). IntechOpen. Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Huang, J. C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. Automation in Construction, 116, 103254. Cheng, J. C. P., Chen, K., & Chen, W. (2020). State-of-the-Art Review on Mixed Reality Applications in the AECO Industry. Journal of Construction Engineering and Management, 146(2), 03119009.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado pensa-se que o documento final está relativamente equilibrado, seja quanto ao tipo de informações necessárias para criar e certificar um curso, seja quanto à distribuição dos temas pelos vários módulos face aos objetivos deste projeto. O facto de prever alunos de nível EQF 5 a 8 traduz-se por um lado numa vantagem, por abranger o número máximo de pessoas, mas por outro lado, tem como consequência a criação de um curso (Secção 3.3) demasiado genérico, o que pode penalizar na qualidade do mesmo.

3.3. Curso de formação

O terceiro resultado do projeto compreendeu a elaboração de materiais didáticos para o curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património. Os materiais didáticos consistem em: apresentações, vídeos, exercícios, workshops de aplicação de tecnologias imersivas, tutoriais de software imersivo e casos de estudo.

Os sete módulos deste curso têm os seguintes conteúdos:

- M1 (Tecnologias e ferramentas imersivas) – inclui introdução à imersividade, história e desenvolvimento das ferramentas imersivas (ex: Figura 2), ferramentas imersivas (arquitetura, engenharia, colaborativas), exemplos de fotogrametria e varrimento a laser, hardware e software corrente, um workshop de fotogrametria (Figura 3) e um guia de uma ferramenta imersiva.

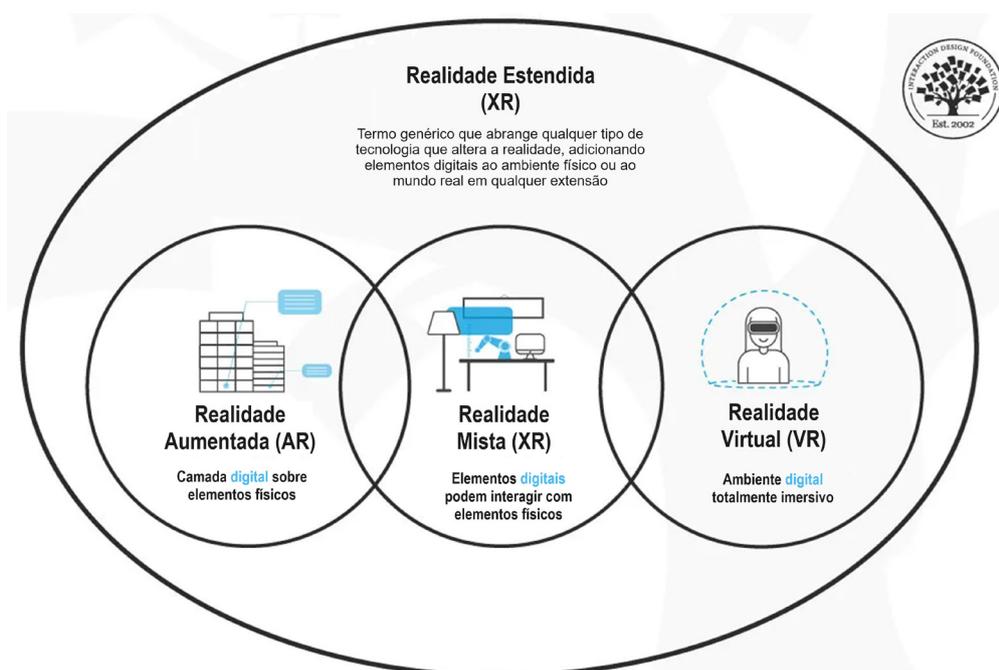
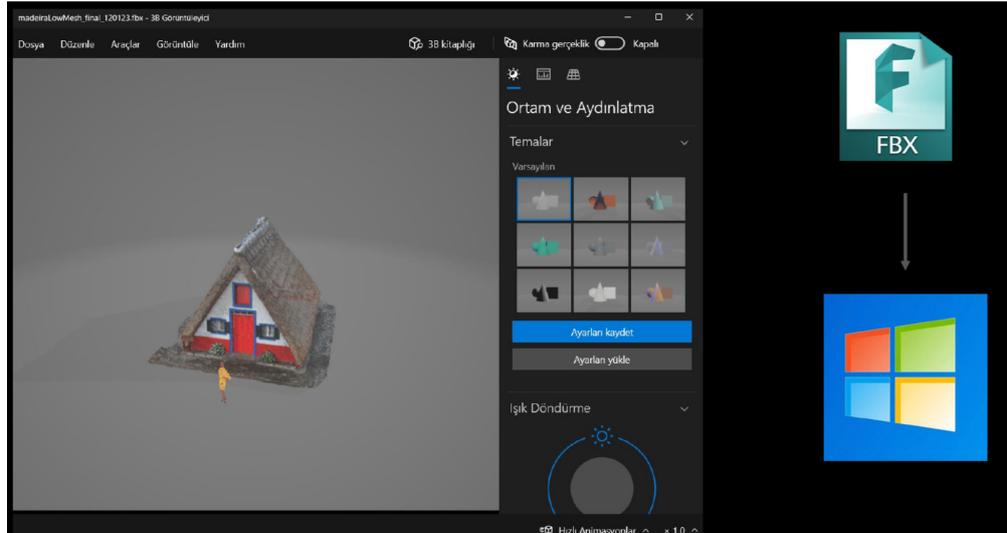


Figura 2
Slide sobre a realidade estendida.

- M2 (Levantamento digital e protocolos de digitalização para BIM) – inclui tecnologias e protocolos para levantamento direto e indireto do património, um workshop de levantamento de nuvem de pontos, veículos aéreos não tripulados e casos de estudo.
- M3 (Tecnologias imersivas para projeto em contexto de património) – inclui noções de restauro e arqueologia, desenvolvimento histórico do projeto imersivo, procedimentos e software (para Gravity Sketch, 3D Studio Max, Sketchup, Revit), um workshop de projeto colaborativo em ambiente VR, identificação de tarefas de projeto com potencial imersivo e benefícios de uso das ferramentas imersivas em projeto. No âmbito do módulo M3 foi ainda desenvolvida uma aplicação de realidade virtual que será alvo de apresentação separada noutro artigo deste congresso. Esta aplicação, que foi realizada em Unity 3D, lê ficheiros no formato IFC e permite: a visualização 3D, a consulta de informação e a edição básica dos elementos do modelo. Esta foi desenvolvida para apresentar como pode ser o trabalho em ambiente imersivo e expor algumas das vantagens/desvantagens e limitações/possibilidades.

Figura 3

Slide do workshop de fotogrametria.



- M4 (Tecnologias imersivas para construção, operação e manutenção em contexto de património) – inclui identificação de tarefas para as fases de construção e operação com potencial imersivo, benefícios de uso das ferramentas imersivas nestas fases, implementação em empresas, listagem de ferramentas e casos de estudo.
- M5 (Competências interpessoais para reabilitar património com sucesso usando ferramentas digitais) – inclui trabalho em equipa, colaboração digital, comunicação digital, gestão da colaboração, flexibilidade e adaptabilidade, tomada de decisão, desenvolvimento de negócio, inovação da gestão, comunicação em público, gestão da organização e gestão de tempo.
- M6 (Competências ecológicas e de sustentabilidade) – inclui economia circular (Figura 4), análise das emissões de carbono, métodos construtivos alternativos, reutilização e sustentabilidade económica.
- M7 (Competências de gestão e financeiras para proteção digital do património) – inclui competências financeiras, avaliação de investimentos, financiamentos para conservação do património, gestão de risco, coordenação de projetos e colaboração.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado nota-se que o curso abrange áreas muito distintas, de modo a poder satisfazer o objetivo do projeto (curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património) e como tal teve de incluir tanto competências tecnológicas como transversais. Este facto teve como consequência que os recursos (humanos) disponíveis para módulo fossem menos. No entanto, os autores são da opinião que teria sido preferível produzir um curso apenas sobre as ferramentas imersivas, concentrando os recursos, de modo a focalizar o trabalho em menos conteúdos, mas produzindo conteúdos com um nível mais complexo. Outro fator relevante é que nos projetos Erasmus+ é muito difícil obter financiamento para adquirir tecnologia, o que neste projeto teria sido fundamental para a aquisição/aluguer de alguns

softwares e hardwares, o que limitou na quantidade e qualidade de workshops que foi possível realizar.



Nordic Recycled Materials

	Denmark*	Finland	Iceland	Norway	Sweden	EU
A1-A3 Raw materials, transport, manufacturing	Zero ✓	Zero ✓	TBD	Zero, but if there is Global Warming Potential from processing of the reused products it must be counted (not if negligible i.e GWP from washing the reused products)	Zero ✓	Not defined
A4/A5 Transport to site, installation	Not declared	Either generic values from national database *** or calculate exact emissions ✓	TBD	Either 300 km, generic values** ✓	Either generic values from national database or calculate exact emissions ***** ✓	Not defined
B2 Maintenance	Not declared	Not declared	TBD	Maintenance is included	Not declared	Not defined
B4 Replacement	Zero	Replacement to a new product	TBD	Replacement to a new product	Not declared	Not defined
C1/C2 Demolition works, transport	Not declared	Included according to the scenarios in the national database	TBD	Not declared	Not declared	Not defined
C3/C4 Waste management, final disposal	Zero	Included according to the scenarios in the national database	TBD	Not declared	Not declared	Not defined

Figura 4
Slide sobre circularidade dos materiais.

3.4. Testes piloto do curso de formação

O quarto e último resultado do projeto passou pela realização de testes piloto ao curso de formação apresentado na Secção 3.3. Numa primeira fase foi realizado um curso online intensivo em inglês durante uma semana usando plataformas como Zoom, Moodle, Padlet, Miro, Kahoot, etc. Nos workshops os alunos foram convidados a instalar software previamente para usar nessas aulas. Neste curso participaram estudantes dos cinco países parceiros. Numa segunda fase foi realizado um curso em cada país na língua local envolvendo estudantes desse parceiro. Neste caso existiram diversas metodologias pedagógicas (aulas, autoestudo, seminários, etc.) e durações (duas a quatro semanas) de modo a ter em conta a realidade e contexto de cada parceiro. No final de ambas as fases foram realizados inquéritos aos formandos de modo a avaliar o curso. Os resultados foram bastante satisfatórios e permitiram efetuar ligeiras melhorias no curso. Os formandos que participaram nestes testes piloto obtiveram um certificado digital europeu emitido por um dos parceiros do projeto que tem já implementado o sistema de Credenciais Digitais Europeias para a Aprendizagem.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado regista-se a importância da realização dos testes piloto para avaliar o curso de formação previamente realizado. Uma das dificuldades encontradas, é que o modelo mais eficaz para a realização dos testes seria a sua incorporação numa Unidade Curricular dos cursos dos alunos, no entanto, atendendo a que os cursos têm um plano de estudos e são acreditados isso não é possível. Deste modo, os testes tiveram de decorrer em regime voluntário e com metodologias pedagógicas alternativas, o que pode penalizar na análise dos resultados.

4. Conclusões

Na Introdução são apresentadas as principais ferramentas imersivas usadas no setor AECO e expostas as suas potencialidades. Referem-se ainda as particularidades do projeto/obra de reabilitação ou valorização do património. Tendo em conta estas duas ideias e a falta de formação de profissionais, nas secções seguintes foi apresentado o projeto ID4Ex que teve como principal resultado a criação de um curso de formação gratuito para profissionais que queiram adquirir competências digitais imersivas no âmbito da reabilitação e valorização do património.

A principal inovação do curso está relacionada com a criação de um especialista em trabalho imersivo (com toda o conhecimento tecnológico que isso implica) aplicado à reabilitação e valorização do património (com todas as particularidades que isso implica). Assim, o curso é composto por sete módulos, sendo os quatro primeiros de cariz mais tecnológico e os restantes três módulos de cariz mais transversal.

O curso destaca-se pela forte análise tecnológica onde muitas ferramentas imersivas atuais (software e hardware) são apresentadas e comparadas, assim como das diversas técnicas de levantamento digital do património. Outro aspeto relevante do curso é a apresentação de diversos casos reais nas áreas da arqueologia, escultura, pintura, arquitetura e engenharia, com objetivos diversos (conservação, reabilitação, visitas virtuais). Destaca-se ainda no curso a evolução das metodologias de trabalho diário, mas utilizando tecnologias imersivas.

Relativamente ao desenvolvimento do projeto ID4Ex o mesmo apresentou algumas falhas, detalhadas na Secção 3, mas pensa-se que o objetivo principal foi conseguido, com a produção de curso multidisciplinar e atual. Pretende-se no futuro incluir parte deste curso na formação de Engenharia Civil da Universidade da Madeira, contribuindo assim para o desenvolvimento do setor AECO na RAM.

Agradecimentos

Os autores agradecem à União Europeia o cofinanciamento do projeto ID4Ex (2021-1-PL01-KA220-HED-000032239).

O primeiro autor agradece o: 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).

Referências

- [1] J. Heijden; “Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review”; *Building and Environment*; vol. 244, p. 110788, 2023.

- [2] K. Wang, et al.; “Digital Technology in Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry: Research trend and Practical Status towards Construction 4.0”; *Construction Research Congress 2022*; pp. 983-992; Arlington, Virginia; 2022.
- [3] V. Péter; “Digitalization in the Construction Industry – The pledge of survival”, *Bachelor’s Thesis*, Haaga-Helia University of Applied Sciences, 2022.
- [4] A. Prabhakaran, A. Mahamadu and L. Mahdjoubi; “Understanding the challenges of immersive technology use in the architecture and construction industry: A systematic review”; *Automation in Construction*; vol. 137, pp. 104228, 2022.
- [5] A. Khan, et al.; “Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review”; *Buildings*; vol. 11; 2021.
- [6] A. Afolabi, C. Nnaji and C. Okoro; “Immersive Technology Implementation in the Construction Industry: Modeling Paths of Risk”; *Buildings*; vol. 12; 2022.
- [7] A. Sidani, et al.; “Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review”; *Archives of Computational Methods in Engineering*; vol. 28, pp. 449-462; 2021.
- [8] K. Amin, G. Mills and D. Wilson; “Key functions in BIM-based AR platforms”; *Automation in Construction*; vol. 150, p. 104816; 2023.
- [9] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi and J. Huang; “From BIM to extended reality in AEC industry”; *Automation in Construction*; vol. 116, p. 103254; 2020.
- [10] L. Alfaro et al.; “Knowledge Construction by Immersion in Virtual Reality Environments”; *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*; vol. 10, pp. 609-619; 2019.
- [11] J. Wen and M. Gheisari; “Using virtual reality to facilitate communication in the AEC domain: a systematic review”; *Construction Innovation*; vol. 20, pp. 509-542; 2020.
- [12] V. Getuli, et al.; “BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach”; *Automation in Construction*; vol. 114, pp. 103160; 2020.
- [13] A. Babalola et al.; “A systematic review of the application of immersive technologies for safety and health management in the construction sector”; *Journal of Safety Research*; vol. 85, pp. 66-85; 2023.
- [14] U. Ruppel and K. Schatz; “Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations”; *Advanced Engineering Informatics*; vol. 25, pp. 600-611; 2011.

- [15] Z. Feng, et al.; "Towards a customizable immersive virtual reality serious game for earthquake emergency training"; *Advanced Engineering Informatics*; vol. 46, p. 101134; 2020.
- [16] F. Banfi; "The Evolution of Interactivity, Immersion and Interoperability in HBIM: Digital Model Uses, VR and AR for Built Cultural Heritage"; *International Journal of Geo-Information*; vol. 10, p. 685, 2021.
- [17] U. Ferretti, R. Quattrini and M. D'Alessio; "A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino"; *Heritage*; vol. 5, pp. 1551-1571; 2022.
- [18] M. Casini; "Extended Reality for Smart Building Operation and Maintenance: A Review"; *Energies*; vol. 15, p. 3785; 2022.
- [19] A. Gerger, H. Urban and C. Schranz; "Augmented Reality for Building Authorities: A Use Case Study in Austria"; *Buildings*; vol. 13, p. 1462; 2023.
- [20] A. Egusquiza, et al.; "Co-creation of local eco-rehabilitation strategies for energy improvement of historic urban areas"; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; vol. 135, p. 1103332; 2021.
- [21] G. Foster and R. Saleh; "The Circular City and Adaptive Reuse of Cultural Heritage Index: Measuring the investment opportunity in Europe"; *Resources, Conservation and Recycling*; vol. 175; p. 105880; 2021.

Capacitação dos profissionais de Engenharia, Agronomia e Geociências registrados no CREA-PE pertinente ao projeto CREA Qualifica (Curso BIM)

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.52>

**Ítalo Santos¹, Adriano Lucena²,
Nielsen Christianne³, Adriana Pereira⁴,
Beatriz Kataryna⁵**

¹ *Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife / PE, 0000-0003-4071-246X*

² *Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco, Recife / PE, 0009-0008-2272-1227*

³ *Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco, Recife / PE, 0009-0002-1975-0031*

⁴ *Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco, Recife / PE, 0009-0005-3760-3221*

⁵ *Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife / PE, 0009-0007-9930-0108*

Resumo

A adoção da Modelagem da Informação da Construção (BIM) no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AECO) vem ganhando força nos últimos anos, porém, existe uma escassez no que diz respeito a formação continuada dos profissionais, tendo em vista que muitos desses não tiveram a oportunidade de compreender os fundamentos do BIM em suas respectivas formações técnicas. Este artigo apresenta os resultados alcançados pertinente ao projeto denominado CREA Qualifica (Curso BIM) concebido pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Pernambuco (CREA-PE) ofertado gratuitamente junto aos profissionais vinculados ao conselho. Serão apresentados neste artigo os dados capturados associados a realização do referido curso em 13 cidades no estado de Pernambuco (região nordeste do Brasil), no qual foi percorrido pela equipe do CREA-PE mais de 4.715km capacitando mais de 300 profissionais (modalidade presencial), totalizando mais de 260h de capacitação pertinente aos 05 módulos previstos: módulo I (introdução ao BIM), módulo II (usos BIM), módulo III (normas BIM ABNT / ISO 19650), módulo IV (colaboração, integração e interoperabilidade de projetos) e o módulo V (implantação / implementação BIM – PIB, PEB e BIM Mandate). Além dos resultados obtidos juntos

aos profissionais com ênfase na média de assimilação do conhecimento de cada turma, serão apresentados, os desafios e oportunidades identificadas durante os 11 meses de capacitação do curso BIM, bem como, os desdobramentos futuros previstos pela equipe do CREA-PE e o IG Consultoria, empresa contratada para desenvolver o material didático e realizar o curso nas 13 cidades contempladas.

1. Introdução

1.1. Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco (CREA-PE)

O Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Pernambuco, trata-se de uma autarquia federal, criada para fiscalizar e orientar os trabalhos e o exercício profissional das Engenharias, Agronomia e Geociências, atuando em conjunto com as instituições de ensino, que capacitam os profissionais, e as entidades de classe, que defendem os direitos trabalhistas e promovem ações de valorização [1]. O papel do CREA-PE está fundamentado em registrar, habilitar e fiscalizar o exercício dos profissionais da Engenharia, Agronomia e Geociências no território pernambucano, impedindo, assim, que “leigos” ou indivíduos não habilitados exerçam atividades exclusivas de profissionais de áreas técnicas, garantindo a segurança de toda a sociedade.

1.2. Breve contextualização – projeto CREA Qualifica

Além das atribuições apresentadas no tópico anterior, uma das iniciativas capitaneada pela atual gestão do CREA-PE visando promover: valorização profissional e capacitação continuada foi a criação do projeto denominado CREA Qualifica, que consistiu em viabilizar uma série de cursos gratuitos (contratados pelo instituto REDS) com foco no mercado de trabalho, atendendo diversos municípios espalhados no estado de Pernambuco [2]. A iniciativa do CREA Qualifica, deu-se em função de um questionário que o próprio conselho realizou junto aos profissionais registrados, dentre os temas elencados como temas estratégicos para capacitação, foram estabelecidos os temas dos cursos. A tabela 1 apresenta os cursos oferecidos pelo projeto CREA Qualifica.

Tabela 1: Lista dos cursos oferecidos (projeto CREA Qualifica)

Descrição	Duração (hrs.)	Dias
Curso BIM - Introdução a Modelagem da Informação da Construção	20	03
Curso de Gestão de Qualidade	20	03
Curso de Mapeamento com Drone	20	03
Curso uso de Drone na Agricultura de Precisão	20	03
Curso de Orçamento com Ferramentas BIM	20	03
Curso de Licenciamento Ambiental	20	03
Curso de Gestão de Rodovias usando Visão Computacional	20	03
Curso de Inspeções de Obras com uso de Drone	20	03
Curso de Monitoramento de Barragens com Drone	20	03
Curso de Instalação, Manutenção e Empreendedorismo em Energia Solar	20	03

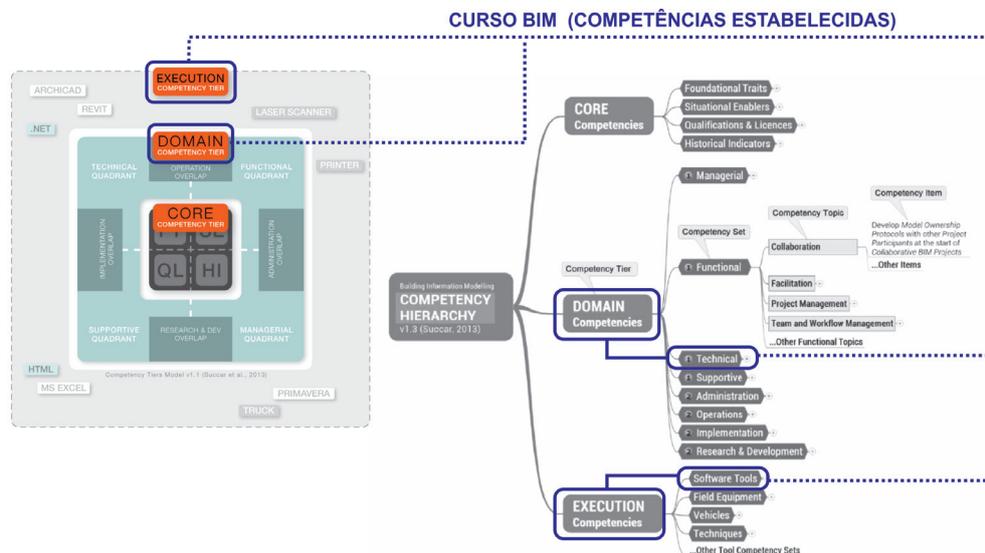
Dentre os cursos oferecidos, dois cursos trataram especificamente sobre BIM, o primeiro associado a Introdução a Modelagem da Informação da Construção (Curso BIM), e o segundo pertinente a Orçamento dom Ferramentas BIM. Este artigo apresenta os resultados alcançados associado ao Curso BIM. Apenas no ano de 2022, o

projeto CREA Qualifica contemplou aproximadamente 700 profissionais, ultrapassando a marca de 1.900 profissionais capacitados em 2023 [2].

2. Metodologia

Para realização do Curso BIM, o CREA-PE contratou uma empresa de Consultoria especializada (IG Consultoria). Em um entendimento inicial, foi adotado pela equipe a metodologia no qual o Curso BIM seria realizado baseado nos níveis de competências BIM [3]. A motivação inicial que a presidência do Crea-PE teve foi de poder criar um Curso de Introdução ao BIM que possibilitasse que os profissionais capacitados, tivessem a oportunidade de ter contato com fundamentos teóricos e ao mesmo tempo, pudessem ter contatos iniciais com atividades práticas (criação, navegação e manipulação de projetos em Plataformas e Ambientes BIM) [4]. A figura 1 apresentada abaixo destaca as competências e domínios no qual o Curso BIM contemplou.

Figura 1
Níveis de competências
(Curso BIM) [3].



Tendo em vista que o curso teve uma carga horária reduzida (20h), foi estabelecido inicialmente uma estratégia no qual o curso pudesse contemplar duas competências: I) competências técnicas e teóricas (*domain competency tier*) associada a atividades situadas no quadrante técnico [3] com ênfase em desenvolver habilidades individuais (mínimas necessárias) possibilitando que os profissionais pudessem utilizar Plataformas BIM [4] com base em um entendimento teórico e II) competências de execução (*execution competency tier*) pertinente a desenvolver habilidades mínimas junto aos profissionais capacitados para utilizar softwares e diferentes técnicas para realizar entregas baseadas em Usos BIM [5] e [6] pré-estabelecidos ao longo da capacitação nos módulos práticos.

3. Planejamento Curso BIM

Uma vez estabelecida a metodologia, foi possível desenvolver um planejamento estratégico pertinente ao conteúdo programático do curso, sendo possível conceber uma modulação proposta por 05 módulos de capacitação que mesclasse as duas competências (domínio e execução), a tabela 2 apresentada a seguir, detalha as descrições de cada módulo previsto, bem como, o conteúdo programático e a carga horária prevista para cada módulo.

Tabela 2: Conteúdo programático dos módulos propostos (Curso BIM)

Descrição (módulo)	Conteúdo	Tipo	Total (hrs.)
Módulo 1 – Introdução ao BIM	Conceituação BIM / Níveis de Maturidade BIM / Plataformas BIM / Dimensões BIM / Competências BIM / Benefícios BIM.	(T)	4h
Módulo 2 – Usos BIM	Conceituação Usos BIM / Usos BIM (Penn State) / Usos BIM (Succar, 2016) / Atividade prática (Usos BIM).	(T/P)	4h
Módulo 3 – Normas BIM ABNT / ISO 19650	Estratégia BIM BR / Decreto 9.377 (2018) / Decreto 9.983 (2019) / Decreto 10.306 (2020) / ISO 19650 – parte 1 e 2 / NBR 15965 (2011).	(T)	4h
Módulo 4 – Colaboração e Interoperabilidade BIM	Colaboração / Coordenação de projeto / Formatos para colaboração BIM / Interoperabilidade BIM / Atividade prática	(T/P)	4h
Módulo 5 – Implantação / Implementação BIM	Plano de Implementação BIM (PIB) / Plano de Execução BIM (PEB) / BIM Mandate	(T)	4h
		Total	20h

Legenda tipo: (T) módulo teórico / (T/P): módulo teórico e prático.

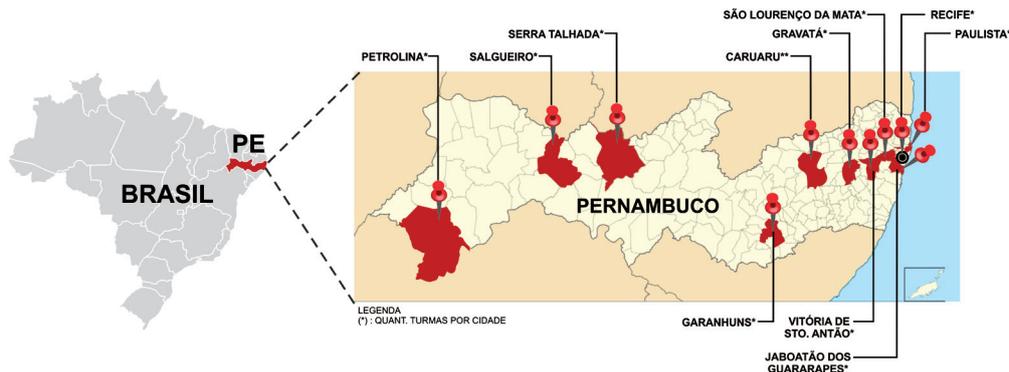
É possível notar que a distribuição proposta para os cinco módulos, mesclou atividades teóricas e práticas. Já com relação aos horários e dias para realizar a capacitação, tendo em vista que os profissionais ao longo do dia poderiam estar trabalhando (horário comercial), foi optado para que o curso ocorresse nos seguintes dias: sexta-feira (18h às 22h), sábado (08h às 12h / 13h às 17h) e no domingo (08h às 12h / 13h às 17h) nas 13 cidades beneficiadas ao longo de 11 meses totalizando as 20h previstas. Uma vez estabelecido o conteúdo programático para cada módulo, foi desenvolvido apostilas específicas e listado os materiais complementares de leitura de suporte aos tópicos abordados nos módulos, todos os materiais foram disponibilizados em formato digital para os profissionais capacitados.

3.1. Cidades beneficiadas curso BIM

Após o desenvolvimento de todos os materiais didáticos, foi estabelecido junto ao CREA-PE a lista das cidades a serem contempladas na 1.^a edição do Curso BIM, foram escolhidas estrategicamente 13 cidades distribuídas em diferentes localidades no estado de Pernambuco, a figura 2 apresentada seguir demonstra a localização das cidades beneficiadas pela capacitação.

Figura 2

Localização das cidades beneficiadas – Curso BIM (Autores, 2023).



O estado de Pernambuco, é uma das 27 unidades federativas do Brasil, dividido por 185 municípios com mais de 9,49 milhões de habitantes (4,55% da população brasileira). Para o Curso BIM, a escolha das 13 cidades deu-se em função em diversos fatores, dentre eles: poder contemplar cidades em diferentes mesorregiões de Pernambuco, o estado é dividido por 05 mesorregiões: I) Sertão pernambucano (41 municípios), II) região São Francisco Pernambucano (15 municípios), III) Agreste Pernambucano (71 municípios), IV) Zona da Mata (43 municípios) e V) Região Metropolitana do Recife – RMR (15 municípios), realizar a capacitação em cidades que tivessem inspetorias regionais do Crea-PE (atualmente o conselho possui 18 inspetorias distribuídas nos estado), assim como, atender inicialmente as cidades que tiveram maior quantidade de profissionais que responderam ao questionário realizado pelo CREA-PE junto aos profissionais antes do início do projeto CREA Qualifica.

3.2. Realização do Curso BIM

Uma vez estabelecido a metodologia, desenvolvido o material didático (05 módulos) e definido os locais a ser realizado o Curso BIM, iniciou-se propriamente dita a capacitação no formato presencial. Visando compreender melhor o perfil de cada turma, foram aplicados questionários semiestruturados através da ferramenta Google formulário com intuito de capturar dados associados aos profissionais, compreendendo as diferentes áreas de atuação profissional (setor público, privado ou autônomo), área de atuação (serviços prestados), bem como, compreendendo o nível de entendimento que cada profissional tinha com relação aos temas dos 05 módulos propostos. A figura 3 demonstra um exemplo de respostas capturadas representadas em gráficos gerados automaticamente através do Google formulário.

INFORMAÇÕES GERAIS (PROFISSIONAIS)

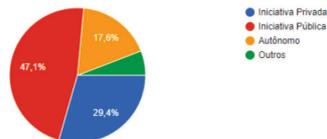
Formação Acadêmica

17 respostas



Qual a sua área de atuação profissional?

17 respostas



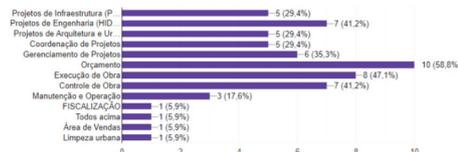
Onde você mora (cidade / estado)?

15 respostas



Em qual área você atua profissionalmente (serviços prestados)?

17 respostas



INFORMAÇÕES GERAIS (MÓDULOS - ANTES)

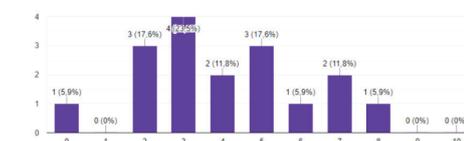
Em uma escala de 0 a 10, aponte o quanto você sabe dos conceitos básicos de BIM.

17 respostas



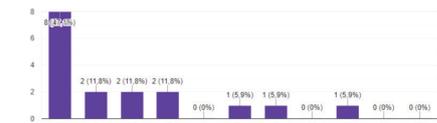
Em uma escala de 0 a 10, aponte o quanto você sabe sobre Usos BIM.

17 respostas



Em uma escala de 0 a 10, aponte o quanto você sabe sobre Normas BIM ABNT / NBR 19.650.

17 respostas



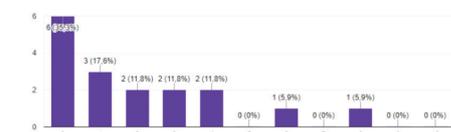
Em uma escala de 0 a 10, aponte o quanto você sabe sobre integração de Projetos, Colaboração e Interoperabilidade BIM.

17 respostas



Em uma escala de 0 a 10, aponte o quanto você sabe sobre PIB, PEB, BIM Mandate.

17 respostas



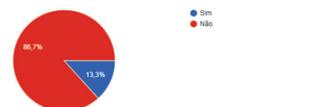
Você já utilizou alguma vez em seus projetos recursos de Realidade Virtual (RV)?

15 respostas



Você já utilizou alguma vez em seus projetos recursos de Realidade Aumentada (RA)?

15 respostas



Antes de iniciar a capacitação em cada turma foi aplicado o questionário 01 apresentado na figura 3, o intuito desse questionário foi de capturar as informações gerais (profissionais) e informações específicas (módulos) antes do início da capacitação, após o último dia da capacitação foi aplicado o questionário 2, tendo o intuito de obter o feedback dos profissionais. A figura 4 demonstra registros fotográficos das turmas e de aulas teóricas e práticas realizadas em algumas das 13 cidades contempladas.

Figura 3
Respostas questionário 01 semiestruturado (Autores, 2024).

Figura 4
Registros fotográficos
Curso BIM (Autores,
2024).



3.3. Resultados alcançados curso BIM

Após a realização da capacitação em cada turma, foi aplicado o questionário 02 com o intuito de obter dados associados ao nível de conhecimento assimilado pelos profissionais, assim como colher feedback dos profissionais com relação a comentários gerais, sugestões de melhorias, etc. Visando analisar melhor a sobreposição desses dados, foi criado posteriormente um dataset contendo todas as informações (questionário 01 e 02) e posteriormente esse dataset foi carregado em um software de visualização de dados, nesse caso, foi escolhido o software Tableau da empresa

Salesforce para desenvolver um dashboard interativo que caracterizasse os resultados alcançados do Curso BIM e pudesse ser acessado on-line. A figura 5 demonstra a tela inicial do dashboard desenvolvido (disponível publicamente).



Figura 5
Dashboard Curso BIM
(Autores, 2024).

O dashboard do Curso BIM possui 04 painéis caracterizando os dados capturados, pertinentes à: I) dados gerais, II) dados associados às turmas / profissionais, III) dados pertinentes à assimilação de conhecimento (módulo) e IV) dados com relação aos feedbacks dos profissionais. Ao todo, foram mais de 300 profissionais capacitados, mais de 08 áreas de formações distintas (profissionais capacitados), mais de 4.745km percorridos (13 cidades).

3.4. Reflexões alcançadas (após capacitação)

De acordo como os dados analisados no dashboard, foi possível obter diversas reflexões pertinentes a esse projeto, a primeira reflexão está associada a questão dos profissionais capacitados, foi notado uma diversidade grande de formação dos profissionais que foram capacitados tendo a seguinte distribuição média (13 turmas), 76,80% engenheiros civis, 6,53% engenheiros de produção, 10,69% engenheiros elétricos, 8,05% engenheiros mecânicos, 4,85% engenheiros agrícolas, 3,80% engenheiros florestais, 11,30% técnicos em edificações, 7,70% topógrafos e 12,64% outros (estudantes, convidados, etc.). É perceptível notar com esses percentuais que, os Engenheiros Civis tiveram uma representação maior no curso BIM, mas que a participação de profissionais de outras áreas, sinaliza um interesse de aprendizado com relação ao BIM das demais áreas da Engenharia, Agronomia e Geociências. O segundo ponto observado foi com relação à assimilação de conhecimento dos profissionais em cada um dos cinco módulos, tendo os percentuais apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Percentuais obtidos referente ao nível de assimilação do conhecimento dos profissionais que realizaram o Curso BIM (média).

Descrição (módulos)	Nível de assimilação antes (%)	Nível de assimilação depois (%)
Módulo 1 - Introdução ao BIM	3,05	8,55
Módulo 2 - Usos BIM	2,97	8,51
Módulo 3 - Normas BIM ABNT / ISO 19650	1,12	7,77
Módulo 4 - Colaboração e Interoperabilidade BIM	2,36	8,47
Módulo 5 - Implantação / Implementação BIM	0,95	8,00

É possível notar que os módulos 3 e 5 tiveram um percentual médio menor de assimilação do conhecimento, evidenciando que os assuntos teóricos associados a normas BIM e processo de implantação e implementação BIM (PIB, PEB E BIM Mandate) necessitam de maior disseminação junto aos profissionais, outro fator também percebido, foi de que esses dois módulos (3 e 5) foram módulos 100% teóricos, em contrapartida, os módulos 1, 2 e 3 que obtiveram maior percentual de assimilação de conhecimento, tendo em vista que os módulos 2 e 3 tiveram atividades práticas realizadas após o entendimento teórico sobre os respectivos temas. Vale salientar que essa pontuação foi gerada através de um processo de autoavaliação realizada por cada profissional antes e depois da capacitação respondendo os questionários semiestruturados disponibilizados (on-line).

Com relação aos feedbacks realizado pelos profissionais, 95,15% aprovaram a iniciativa do Curso BIM, 4,85% fizeram sugestões neutras ou não responderam o feedback, apesar de não ter havido comentários explicitamente negativos por parte dos 300 profissionais capacitados, alguns dos comentários positivos / neutros continham possíveis sugestões de melhorias, sendo: I) disponibilizar os instaladores dos softwares a serem utilizados nas atividades práticas com antecedência para os profissionais, tendo em vista que foi necessário utilizar alguns softwares (versão de avaliação) nas atividades práticas, exemplo: Autodesk Revit, Augin, BIMx, TQS, II) melhorar o sinal do Wi-Fi nas salas de aula, tendo em vista que foram utilizados alguns softwares (on-line), exemplo: Trimble Connect, BIMcollab Cloud, Autodesk Rendering, III) ampliar a carga horária da capacitação tendo em vista a quantidade de conteúdo abordado em 03 dias seguidos, IV) criar o Curso BIM (avançado). Todos esses comentários foram compartilhados junto a equipe do CREA-PE, os feedbacks positivos demonstraram um alto nível de aceitação do Curso BIM por parte dos profissionais.

4. Conclusão e desdobramentos futuros

Pertinente as considerações finais obtidas após a realização dessa capacitação BIM nas 13 cidades beneficiadas. A primeira constatação foi de que, a dinâmica econômica e produtiva de cada cidade pode influenciar potencializando o interesse de profissionais da região a utilizarem o BIM com ênfase nas demandas existentes do local, por exemplo, as demandas de prestação de serviços de engenharia da Região Metropolitana do Recife são diferentes das demandas da Região do Sertão Pernambucano, enquanto na

primeira região existe uma variedade maior de potenciais áreas de atuação de serviços para os engenheiros, na segunda região a vocação é mais associada a questões hidrológicas (devido à proximidade da região com o Rio São Francisco, dentre outros fatores), já na região do agreste pernambucano, pelo fato da mesma possuir cidades como Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe que tem o setor secundário e terciário como pontos fortes devido as indústrias de produção têxtil instaladas nessas cidades em função dos polos de confecção do agreste pernambucano (maior polo do nordeste brasileiro) a vocação de serviços nessas cidades são diferentes das demais regiões. Com relação as reflexões obtidas para desdobramentos futuros desse projeto, com base nas respostas dos questionários, foi notado que as áreas de prestação de serviços que os profissionais capacitados atuam são: execução de obra (48,6%), orçamento (32,30%), projetos de engenharia (30,10%) e gerenciamento de projetos (23,50%), com base nessa constatação, foram propostos novos Cursos para o projeto CREA Qualifica com ênfase em Usos BIM específicos nessas áreas. Outro ponto observado foi a saudável aproximação realizada entre os profissionais, inspetores do CREA-PE e as diversas prefeituras de cada cidade beneficiada pelo Curso BIM, foi percebido que existe em algumas prefeituras (mediante conversas com os profissionais nas regiões) carência de mão de obra de profissionais do setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AECO) especialistas em BIM no corpo técnico das instituições públicas.

Por fim, após o término das capacitações, foi elaborado pela empresa de consultoria especializada (IG Consultoria) [7] um relatório de análise de dados contendo os insights apresentados acima, propondo para o CREA-PE mais de 10 novas capacitações associadas a BIM com ênfase nos perfis dos profissionais / vocações das regiões, sugestões de parcerias a serem celebradas junto as prefeituras, bem como, sugestões para realização de eventos estratégicos associados ao BIM a serem realizados junto aos prefeitos e secretários de infraestrutura das cidades pernambucanas, afim de promover maior conscientização sobre os benefícios do BIM, bem como, apoiar a transição dos órgãos públicos para a nova lei de licitações [8] evidenciando a importância de promover o BIM no estado de Pernambuco.

Referências

- [1] CREA Pernambuco. www.creape.org.br. Acesso em: 15 dezembro 2023.
- [2] CREA, Pernambuco. <https://g1.globo.com/pe/especial-publicitario/crea-pe/noticia/2023/08/23/crea-pe-investe-em-capacitacao-gratuita-com-foco-na-valorizacao-profissional.ghtml>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.
- [3] SUCCAR, Bilal; SHER, Willy; WILLIAMS, Anthony. An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in construction*, v. 35, pp. 174-189, 2013.
- [4] SACKS, Rafael et al. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons, 2018.

- [5] SUCCAR, Bilal; SALEEB, Noha; SHER, Willy. Model uses: foundations for a modular requirements clarification language. Australasian Universities Building Education (AUBEA2016), pp. 1-12, 2016.
- [6] MESSNER, John. BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0. 2023.
- [7] IG Consultoria. <https://igconsultoriaeco.com.br/work>. Acesso em : 15 dezembro 2023.
- [8] Lei n.º 14.133, de 1.º de abril de 2021 (2021). Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 15 dezembro 2023.

O BIM na universidade: Relato da implantação de célula BIM na FAU UFRJ

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.53>

Mônica Santos Salgado¹

¹ *Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil,
ORCID 0000-0003-4098-8335*

Resumo

A adequada disseminação do BIM (Building Information Modeling) passa pela formação profissional, que deve necessariamente considerar as potencialidades oferecidas pela metodologia. Com esse objetivo, as Instituições de Ensino Superior brasileiras têm sido motivadas a implementar as Células BIM, que são constituídas pelos docentes, pesquisadores e estudantes interessados na elaboração de um plano de implementação BIM curricular. Cada instituição de ensino pode estabelecer uma ou mais células, dependendo da abrangência do trabalho em desenvolvimento, que pode estar relacionado a um ou mais cursos de graduação e/ou pós-graduação. A Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro possui uma Célula BIM criada a partir de um projeto de pesquisa proposto em 2020, e que teve início em 2021 com apoio da FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro. Na época da submissão do projeto de pesquisa, ainda não existia um protocolo específico para formação das Células BIM. Dessa forma, o presente artigo apresenta as estratégias adotadas nesta iniciativa pioneira para viabilizar o projeto, e os resultados obtidos a partir do trabalho desenvolvido. A estruturação e implementação da Célula BIM foi o primeiro passo no processo de adoção do BIM no ensino de arquitetura da FAU UFRJ.

1. Introdução

A automação e a digitalização são aspectos a serem considerados durante o processo de projeto da edificação, incrementando o (já) extenso número de requisitos e profissionais envolvidos no desenvolvimento do projeto completo da edificação. O crescente interesse nas possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais ocorreu em decorrência do aumento da complexidade do processo de projeto.

A partir de 2020, em consequência das políticas de distanciamento social e ao *home office* adotados durante o surto de COVID19, o interesse nas potencialidades oferecidas pelas metodologias digitais ganhou impulso. No que se refere à formação profissional, alguns autores acreditam que este período será provavelmente lembrado como o ponto de mutação entre o “tempo antes”, baseado na aprendizagem analógica no campus, e o “tempo depois”, quando a aprendizagem digital, online e focada na carreira se torna o ponto principal da competição entre as instituições de ensino [1].

Essa “nova realidade” levou muitos escritórios de projeto para o trabalho “híbrido”, com profissionais atuando parcialmente de casa, o que aumentou o interesse no desenvolvimento de habilidades e competências que permitissem a realização do trabalho colaborativo através das plataformas digitais. BIM (Building Information Modeling) é uma metodologia que facilita a realização do projeto de forma colaborativa, com potencial para melhorar a qualidade arquitetônica ao viabilizar a simulação das soluções de sustentabilidade, habitabilidade e conforto ambiental, por meio de ferramentas digitais que possibilitam a “construção virtual” da edificação. O BIM também pode ser considerado como uma metodologia de cooperação, que pode ser utilizada para gerenciamento de documentos e informações, para controle de orçamentos, planejamento, cronograma, e para análise de variáveis relacionadas à viabilidade, custos e desempenho.

Nesse sentido, considerando a demanda por uma formação profissional em competências que permitam o desenvolvimento do projeto colaborativo e integrado, torna-se importante apresentar as possibilidades oferecidas pela metodologia BIM desde o início do curso de graduação[2]. Se os estudantes de arquitetura forem preparados para trabalhar em colaboração, compreendendo os requisitos das demais disciplinas de projeto, os desencontros típicos do processo de projeto serão provavelmente eliminados [3].

E entre as alternativas para incorporar o BIM na academia, está a estruturação e implementação das chamadas “Células BIM”, que são grupos de docentes, estudantes e pesquisadores que atuam para disseminar as possibilidades do BIM no ensino. Cabe lembrar que a formação profissional em BIM deve ser considerada como uma responsabilidade compartilhada entre a academia e a indústria, uma vez que se trata de uma mudança estrutural, que, para ser bem sucedida, deve envolver todas as partes interessadas [4].

O presente artigo apresenta as etapas adotadas na estruturação e implementação da Célula BIM na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRJ, através de um projeto de pesquisa desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. São apresentadas as dificuldades enfrentadas e também os resultados obtidos com a iniciativa.

2. O projeto de pesquisa: estruturando a Célula BIM

Em 2018 o Governo Federal Brasileiro publicou o primeiro Decreto com o lançamento da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* (conhecida como Estratégia BIM BR), cujo objetivo é promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no País. Substituída pelo Decreto n.º 11.888 de 22 de janeiro de 2024 [5], a Estratégia ganhou maior impulso com a publicação do Decreto n.º 10.306 [6] que estabeleceu a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da Administração Pública Federal.

Na esteira da disseminação do BIM, o então Ministério da Economia brasileiro (extinto em janeiro de 2023, e subdividido em 4 pastas) lançou o Edital n.º 3/2019 [7] propondo o estabelecimento de um *Termo de colaboração para a execução de ações para promover ganho de produtividade e competitividade no setor da construção civil*. Essa iniciativa teve como objetivo a concessão de apoio da administração pública federal para a execução de projetos visando o atingimento de nove metas básicas. Entre estas, cinco estão relacionados com a disseminação do BIM. Destaque para a Meta 7, que propõe a Criação de “Célula BIM” em Universidade pública.

Considerando o ambiente propício à disseminação do BIM no ensino, em 2020 foi submetido à FAPERJ – Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio de Janeiro – o projeto de pesquisa intitulado *Estruturação e Implementação de Célula BIM* com o objetivo de estabelecer um foco disseminador das práticas em projeto e construção a partir das possibilidades oferecidas pelas tecnologias digitais no âmbito da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (FAU UFRJ). À época da submissão do projeto ainda não havia um protocolo pré-estabelecido para estruturação das Células BIM. Dessa forma, esse projeto pioneiro, programado para ser realizado em 36 meses, foi estruturado em quatro etapas:

- etapa 1 – **Planejamento das ações da Célula BIM**

Esta primeira etapa teve entre as principais atividades: identificação dos docentes com interesse no BIM; realização do diagnóstico quanto ao grau de maturidade BIM no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU UFRJ; e a análise da matriz curricular para identificar as disciplinas que poderiam se beneficiar com a adoção do BIM.

- etapa 2 – **Levantamento, formação e instalação**

Com a definição da equipe de trabalho da Célula, esta etapa se relaciona à instalação física da Célula, com a aquisição de equipamentos, móveis e software conforme orientação da Direção da FAU e da Coordenação do Programa de Pós-Graduação.

- etapa 3 – **Detalhamento e realização das atividades**

Esta etapa foi dedicada à disseminação das práticas em BIM com iniciativas de ensino na FAU UFRJ conforme disponibilidade e/ou demanda dos docentes. Envolveu a pesquisa sobre as “pílulas BIM” a serem implementadas nas disciplinas conforme demandas identificadas. A iniciativa ganhou este nome porque não é possível inserir todas as possibilidades oferecidas pela metodologia BIM ao mesmo tempo em todas as disciplinas. É preciso começar por pequenas doses (pílulas).

- etapa 4 – **Análise dos resultados**

Esta etapa final envolve o follow-up dos resultados obtidos junto aos docentes e discentes e a ampliação das “pílulas BIM” com suporte da célula, e manutenção das iniciativas que obtiveram avaliação positiva com a repetição da experiência em períodos subsequentes.

3. Estratégias adotadas na execução do projeto

A primeira ação no âmbito do projeto foi a identificação do interesse dos docentes da FAU UFRJ no BIM. Embora a maioria tenha demonstrado interesse, na prática foi difícil encontrar docentes que estivessem dispostos a dedicar parte do seu tempo aprendendo sobre a metodologia. Exatamente por isso, foi criado um subgrupo entre os interessados, formado por apenas 10 docentes. Junto aos docentes foi realizada uma *Oficina BIM na docência em arquitetura e urbanismo* que abordou temas como:

- **criação de ambientes comuns de dados:** explorando as possibilidades oferecidas por plataformas como o Google drive, Trimble connect, entre outras. Uma vez que o trabalho colaborativo é a base do ambiente BIM, era preciso explorar essas possibilidades antes do aprofundamento na metodologia;
- **teste e uso dos aplicativos para a análise de modelos BIM:** considerando que os docentes não necessariamente precisam dominar software de modelagem ou simulação, a ênfase durante a Oficina foi nas práticas de manipulação e análise de modelos, apresentando as possibilidades oferecidas pelo Tekla BIMsight, BIMcollab Zoom, entre outros;
- **introdução ao conceito de objeto BIM:** com a criação de objetos BIM pelos participantes, explorando a exportação no formato IFC (Industry Foundation Classes);
- **dinâmica de colaboração e comunicação:** com a troca de modelos IFC e geração de notificações e mensagens utilizando o formato BCF (BIM Collaboration Format).

A Oficina foi realizada online, em cinco encontros de 2 horas. Não se considerou a capacitação dos docentes em qualquer software de modelagem. Essa estratégia partiu da compreensão de que os docentes devem se familiarizar com a manipulação dos modelos gerados pelos estudantes, não sendo fundamental, em princípio, o domínio de qualquer software de modelagem. Naturalmente, conforme o BIM se torne mais frequente nas aulas e trabalhos, os próprios docentes poderão se interessar pelo domínio das ferramentas de modelagem. Mas esta oficina não teve esse propósito.

Outra ação realizada durante a primeira etapa do projeto, foi a análise da matriz curricular do curso de graduação em arquitetura e urbanismo da FAU UFRJ. Para esta análise, adotou-se como estratégia os Usos do Modelo BIM, que representam conjuntos de requisitos, atividades especializadas e resultados específicos agrupados em um único título, para que possam ser facilmente especificados, medidos e aprendidos [8].

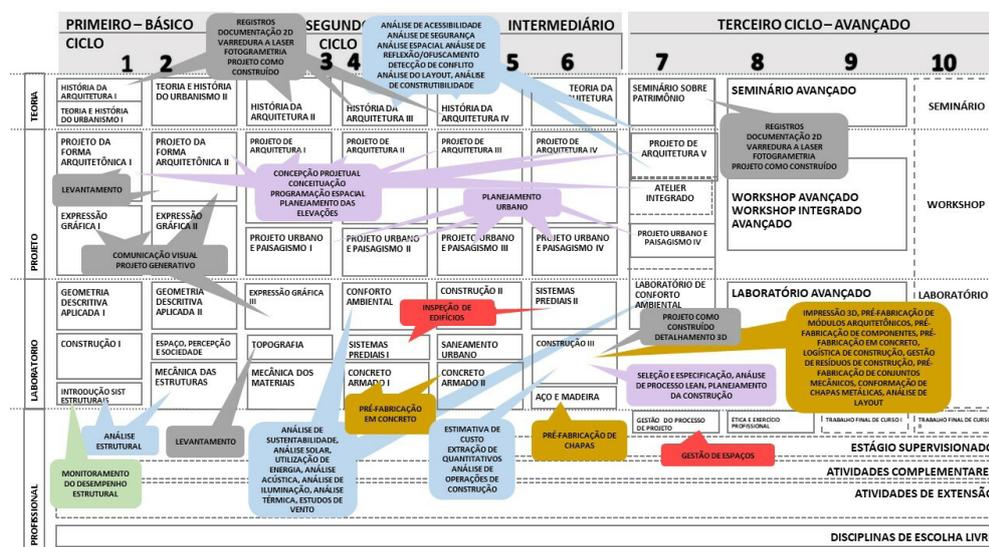


Figura 1
Relação entre os usos do modelo BIM e disciplinas da FAUUFRRJ [9].

O currículo do curso de graduação analisado se baseia em três ciclos – básico, intermediário e avançado – e quatro eixos – teoria, projeto, laboratório e profissional [10]. A análise foi realizada tomando por base as ementas das disciplinas. Os resultados obtidos indicaram várias oportunidades de adoção do BIM no ensino, dadas as possibilidades de integração entre disciplinas evidenciadas pela identificação dos Usos do Modelo BIM conforme apresentado na Figura 1. Esta análise evidenciou as inúmeras possibilidades de inserção do BIM no ensino, dada a interface identificada entre os Usos do Modelo BIM e as disciplinas do curso.

Como parte das atividades da terceira etapa, e para dar suporte aos docentes, além da análise curricular, foi construído um site reunindo um banco de dados dos principais artigos e trabalhos científicos que envolvem a adoção do BIM no ensino, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2
Site da Célula BIM
para suporte aos
docentes [11].

Esta é a página do projeto de Estruturação e Implementação da Célula BIM na FAU UFRJ - Apoio FAPERJ Edital Cientista do Nosso Estado

Responsável: Prof. Mônica Santos Salgado
Docentes participantes:
Prof. Aline Calazans Marques
Prof. Luciana Borvino Figueiredo
Prof. Lucas Rosse Caldas

Breve descrição

Este projeto tem por objetivo disseminar as possibilidades oferecidas pela modelagem da informação da construção entre os docentes e discentes da FAUFRJ, de forma a motivar a inclusão do BIM (Building Information Modeling - Modelagem da Informação da Construção) no ensino de arquitetura. Considerando a crescente demanda por profissionais que saibam trabalhar explorando ao máximo as potencialidades oferecidas pelas tecnologias digitais, a instalação de uma Célula BIM poderá fomentar a disseminação por diferentes agentes como: pela direção ou coordenações da instituição (difusão descendente do BIM), pelos professores e ou funcionários (difusão radial do BIM) e finalmente pelos próprios alunos (difusão ascendente do BIM). (SUCCAR; KASSEM, 2015).

Documentos para consulta

Com o objetivo de disseminar as práticas de ensino através do BIM, e considerando o interesse demonstrado no tema, compartilho abaixo os links que dão acesso aos artigos publicados em revistas e textos publicados nos anais dos eventos relacionados ao tema. Os textos aqui apresentados não esgotam a bibliografia existente sobre o tema, mas correspondem a uma amostra significativa das pesquisas em desenvolvimento nas universidades brasileiras, apresentando as experiências vivenciadas pelos seus autores.

A relação dos documentos foi organizada em oito temas (clique no botão para ter acesso aos documentos):

Conforto e meio ambiente Gestão e orçamento Gráfica digital História e preservação

Projeto arquitetônico Sistemas construtivos Sistemas estruturais Sistemas Prediais

Clique abaixo para acesso aos artigos e textos com experiências relacionadas às mudanças curriculares para adoção do BIM.

Mudança curricular

Também entre as atividades da terceira etapa do projeto, e como forma de perpetuar a discussão sobre as estratégias para adoção do BIM além dos 36 meses de prazo de realização do projeto, foi estruturada uma nova disciplina de pós-graduação, oferecida aos discentes de mestrado e doutorado do PROARQ (Programa de Pós-Graduação em Arquitetura), intitulada: *BIM no ensino de arquitetura*. A primeira turma ocorreu em 2022 e contou com a participação de docentes da FAU UFRJ como ouvintes.

Graças ao projeto de Doutorado Interinstitucional, a disciplina também contou com a participação de docentes da Universidade Federal de Roraima (localizada no extremo norte do Brasil), que estão realizando seu doutoramento na UFRJ, e se interessaram em levar as práticas do BIM também para o curso de graduação da sua instituição.

O interesse e dedicação dos discentes das primeiras turmas desta disciplina levou a proposição de diferentes estratégias didáticas para adoção do BIM no ensino, e estas foram reunidas num livro [12] onde são apresentadas propostas que envolvem: a introdução de conceitos de programação no ensino de geometria descritiva; a manipulação de modelos no ensino dos sistemas prediais; a otimização da forma para a captação da radiação solar na envoltória de edifícios; a aplicação do BIM no

ensino de projeto de arquitetura educacional; o uso do BIM no ensino de conforto ambiental; a viabilidade econômica na construção; e o ensino de construção através das possibilidades oferecidas pelo BIM.

4. Análise dos resultados e próximos passos

A experiência vivenciada durante o projeto de estruturação e implementação da Célula BIM proposto em 2020, e seus desdobramentos, trouxeram várias informações importantes. Entre estas, a convicção de que a adoção do BIM no ensino passa por etapas que envolvem a capacitação evolutiva dos docentes, a ser definida conforme Uso do Modelo BIM a ser explorado nas disciplinas.

Recentes pesquisas, como a que desenvolveu a matriz para diagnóstico da maturidade BIM nas instituições de ensino superior [13], oferecem material adicional aos interessados na incorporação do BIM ao ensino, viabilizando novas iniciativas. Além disso, as Células BIM constituídas especialmente a partir de 2022, já contam com um protocolo de ações disponível no Portal BIM Acadêmico [14]. Esta base comum pode ser adotada pelos interessados, e inclui desde orientações referentes à formação da Célula, até a definição do plano de ação.

Vale acrescentar que, em várias Universidades brasileiras, o processo de disseminação da metodologia BIM conta com grupos voluntários formados pelos discentes [15]. Surge, portanto, outra alternativa para fortalecimento das Células BIM, com a participação ativa dos discentes junto ao corpo docente, explorando as potencialidades oferecidas pela metodologia.

5. Considerações finais

A COVID 19 teve, entre as muitas consequências, algumas alterações no processo de ensino e aprendizado. Neste contexto, o interesse pelo BIM encontrou terreno fértil entre arquitetos e engenheiros. Chegou a hora de dar continuidade às mudanças iniciadas em 2020, explorando as possibilidades oferecidas. As Células BIM têm um papel importante nesse processo, reunindo professores e alunos explorando as potencialidades oferecidas pela metodologia.

Mas os resultados obtidos com este projeto evidenciam que não existe uma fórmula única para adoção do BIM nas Universidades. Ou seja, existem “trilhas”, mas não “trilhos”.

O próximo passo na disseminação das Células BIM entre as instituições será a avaliação dos resultados obtidos. As lições aprendidas poderão contribuir para a elaboração ou aprimoramento das diretrizes incentivando a instalação de novas Células BIM.

Agradecimentos

A autora agradece à FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) e ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento) pelo apoio à pesquisa.

Referências

- [1] S. Gallagher and J. Palmer. The Pandemic Pushed Universities Online. The Change Was Long Overdue. *Harvard Business Review* (2020) Disponível em <<https://hbr.org/2020/09/the-pandemic-pushed-universities-online-the-change-was-long-overdue#>> Acesso em 22 de dezembro de 2023
- [2] M.S.Salgado. BIM and the future of architecture teaching *IOPConf.Ser.:Earth Environ. Sci.* 1101 052024 (2022) DOI 10.1088/1755-1315/1101/5/052024 Disponível em <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1101/5/052024>> Acesso em 23 de dezembro de 2023
- [3] M. Shelbourn, J. Macdonald, T.J. McCuen e S. Lee. Students' perceptions of BIM education in the higher education sector: A UK and US perspective *Industry and Higher Education*, Vol. 31(5), (2017) 293-304. DOI 10.1177/0950422217725962 Disponível em <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0950422217725962>> Acesso em 23 de dezembro de 2023
- [4] B. Succar, W. Sher, A competency knowledge-base for BIM learning. *Australasian Journal of Construction Economics and Building-Conference Series* (2014), 2(2): 1-10. Disponível em <<https://www.library.auckland.ac.nz/external/finalproceeding/Files/Papers/46530Final00140.pdf>> Acesso em 22 de dezembro de 2023
- [5] Decreto n.º 11.888 de 22 de janeiro de 2024. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do *Building Information Modelling* - BIM BR. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/decreto/D11888.htm> Acesso em 22 de fevereiro de 2024
- [6] Decreto n.º 10.306 de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* – Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto n.º 9.983, de 22 de agosto de 2019. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10306.htm> Acesso em 22 de fevereiro de 2024.

- [7] Ministério da Economia Edital n.º 3/2019 Termo de colaboração para a execução de ações para promover ganho de produtividade e competitividade no setor da construção civil. Disponível em <<https://www.gov.br/economia/pt-br/aceso-a-informacao/licitacoes-e-contratos/doacoes/chamamentos-publicos/2019/construcao-civil/edital>> Acesso em 22 de fevereiro de 2024
- [8] B. Succar N. Saleeb W Sher, Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language, *Australasian Universities Building Education*, Australia, 2016, pp. 1-12. Disponível em <<https://nova.newcastle.edu.au/vital/access/services/Download/uon:30227/ATTACHMENT02>> Acesso em 23 de dezembro de 2023
- [9] M. S. Salgado, M. Adoção dos Usos do Modelo BIM como estratégia para inserção no ensino de graduação. *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 19., (2022)*. Porto Alegre: ANTAC, 2022, pp. 1-10. DOI: 10.46421/entac.v19i1.2024. Disponível em <<https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2024>> Acesso em 23 de dezembro de 2023
- [10] *Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Arquitetura e Urbanismo 2020-2030*, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, UFRJ, versão 10 de agosto de 2021
- [11] Célula BIM na FAUUF RJ – Projeto FAPERJ. Disponível em <<https://geparqproarq.wixsite.com/gestaoprojetos/cópia-célula-bim-na-fau-ufjr>> Acesso em 23 de dezembro de 2023
- [12] M. S. Salgado (org), *BIM no ensino de arquitetura: estratégias didáticas na formação profissional*. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2023, 128 p.
- [13] J. S. Böes J. P. Barros Neto M. M. X Lima de, Modelo de maturidade para Instituições de Ensino Superior. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, pp. 131-150, abr./jun. 2021.
- [14] Plano de Implantação BIM *Portal BIM Acadêmico*. Disponível em <<https://sites.google.com/antac.org.br/portalbimacademico/plano-de-implantacao-bim>> Acesso em 22 de dezembro de 2023
- [15] C. C. Souza e M. S. Salgado Ensino de arquitetura e a modelagem da informação da construção (BIM) *25o Congresso de Arquitetura ARQUISUR (2022)* Porto Alegre, Brasil. Disponível em <https://www.sisgeenco.com.br/anais/arquisur/2022/arquivos/GT1_COM_166_352_20220906203420.pdf> acesso em 24 de fevereiro de 2024

Plataforma europeia BIMVET3 para o ensino da metodologia BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.54>

**Luísa M. S. Gonçalves¹,
Miguel Barreto Santos², Ricardo Duarte³**

¹ INESC Coimbra, Escola Superior de Tecnologia e Gestão,
Politécnico de Leiria, Leiria, ORCID 0000-0002-6265-89032

² Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico de Leiria, Leiria,
ORCID 0000-0001-9296-6643

³ Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico de Leiria, Leiria,
ORCID 0000-0002-8238-7645

Resumo

Atualmente vivemos numa época de grandes mudanças e transformações, estimulada pelo rápido crescimento populacional, pelas alterações climáticas, pelos vários desafios socioeconómicos, entre outros. Em paralelo, as soluções científicas e tecnológicas avançam a um ritmo acelerado para dar resposta aos novos desafios da humanidade. Para acomodar esses desenvolvimentos e continuar a enfrentar os problemas do mundo moderno, a procura de incrementos operacionais é inevitável, onde se inclui o processo colaborativo na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). A metodologia BIM e o *software* BIM multidisciplinar estão a liderar o caminho ao nível da coordenação de projetos. A implementação do BIM ao nível educacional é fundamental para a formação atual dos profissionais da indústria AEC, garantindo uma transição suave nos fluxos de trabalho colaborativos e inovadores do futuro. É importante a inclusão do ensino BIM nos programas educacionais do Ensino Secundário Profissional e do Ensino Superior, relacionados com a indústria AEC (que ainda é reduzido) e aumentar a quantidade de recursos de aprendizagem disponíveis. Surge assim o projeto BIMVET3, no âmbito do Projeto Europeu Erasmus+. Através da sinergia entre instituições de ensino superior de vários países, o projeto visou a criação de uma plataforma *online* com a oferta de acesso a recursos formativos que podem ser usados por estudantes, por professores ou pelo público em geral. Neste artigo apresenta-se a plataforma BIMVET3 e os respetivos conteúdos, bem como uma análise ao contributo da ferramenta para o ensino da metodologia BIM e para o desenvolvimento de competências de BIM.

1. Introdução

A tradicional indústria da construção está a passar por uma fase de evolução e inovação. Novas soluções de automatização e modernização de projeto e construção obrigaram a repensar a metodologia colaborativa utilizada até final do século XX. Um processo onde prevalece a troca de informação em papel ou por ficheiros em pastas, com todos os inconvenientes de desorganização, dificuldades e carência na partilha de informação com consequentes erros de projeto e custos associados, não faz sentido com o potencial tecnológico atual.

Nesse contexto, a transformação digital da indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) apresenta, no século XXI, desafios como: a otimização da gestão da elevada proliferação de informação, a aplicação de práticas sustentáveis, as preocupações energéticas globais e o aumento da produtividade através de práticas LEAN [1]. Com a intenção de promover esta filosofia para a indústria AEC, surge o conceito BIM – acrónimo usado para definir "Building Information Modeling", amplamente descrito e explicado na bibliografia [2]. A BuildingSmart Portugal (www.buildingsmart.pt) apresenta uma definição/explicação atual e elucidativa referindo-se ao BIM como uma *"metodologia de partilha da informação e de colaboração entre todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção, que se apoia num modelo digital, acessível por software, o qual permite a manipulação virtual dessa mesma construção"*.

O ensino da metodologia BIM e a sua integração no currículo das instituições de ensino superior de arquitetura e engenharia é um fator crucial para a sua disseminação e para a formação de profissionais capacitados, pois esta será a maior barreira para a globalização do uso desta tecnologia na indústria da construção [3].

Como qualquer novo processo ou tecnologia, o desenvolvimento profissional contínuo de novas competências é fundamental para impulsionar as empresas e manter um fluxo constante de trabalho. A aplicação da metodologia BIM nos fluxos das empresas do setor da construção, incrementa consideravelmente a qualidade do trabalho produzido e ainda o tempo gasto na produção dos vários elementos necessários para a execução das construções.

Com o objetivo de construir competências digitais BIM na conceção e gestão de projetos de construção, surge o projeto BIMVET3 (<https://bimvet3.eu/>) através da ação conjunta de várias instituições de ensino superior e de associações empresariais de países europeus, no âmbito do Projeto Europeu Erasmus+.

O projeto visou promover e orientar a aprendizagem do BIM através de novas estratégias pedagógicas e de um currículo inovador. Procurou também reduzir a lacuna de competências em BIM entre as instituições de ensino superior e a formação profissional.

Foi criada uma plataforma *online* com a oferta de acesso a recursos formativos que podem ser usados por estudantes, por professores ou pelo público em geral que queira aprender ou ver enriquecido o seu conhecimento na área do BIM.

2. Metodologia

O projeto foi liderado pela Universidade Politécnica de Cartagena (Espanha), tendo a colaboração do Politécnico de Leiria (Portugal), da ATENEA Projects Lda. (Portugal), da Balikesir University (Turquia), da Asociacion Empresarial de Investigacion Centro Tecnologico De La Construcccion Region De Murcia (Espanha) e da Viesoji Istaiga Vilniaus Statybininku Rengimo Centras (Lituânia).

O objetivo principal deste projeto foi o desenvolvimento de currículos e materiais de formação para a implementação da metodologia BIM, em especial ao nível do ensino profissionalizante de nível terciário, nos cursos designados por “Vocational Education and Training” (VET). Foram desenvolvidas abordagens e conteúdos adaptados ao nível curricular e ao conhecimento científico e técnico global dos estudantes que frequentam estes cursos, alinhados também com as necessidades do mercado de trabalho.

Os principais grupos-alvo do projeto são os estudantes do ensino de nível superior de países europeus, os professores do ensino superior que queiram implementar o BIM nas suas aulas e os profissionais da área de construção civil que ainda não possuam as competências exigidas nesta nova metodologia.

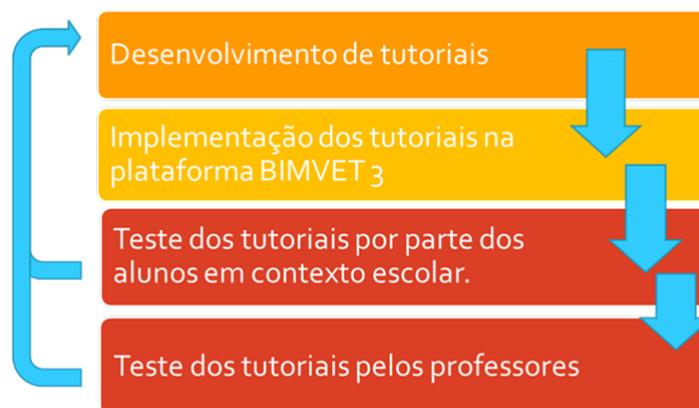
O desenvolvimento do projeto teve três fases distintas. Numa primeira fase foram identificadas as necessidades do mercado e as competências necessárias a um modelador BIM e a um coordenador BIM. Tendo por base a pesquisa efetuada, foi definido um *curriculum* de um curso de especialização e foram desenvolvidos um conjunto de conteúdos, organizados em blocos, que constituem parte integrante do referido curso. O curso é composto por diferentes níveis de formação, em função das competências identificadas. Os conteúdos englobam tutoriais, exercícios, casos de estudo e elementos teóricos, bem como ficheiros a utilizar na aprendizagem mais prática.

A segunda fase consistiu no desenvolvimento de uma plataforma *online* para permitir a disponibilização dos materiais desenvolvidos, acessíveis a todos aqueles que queiram desenvolver as suas competências nesta área, servindo também de apoio à lecionação destes conteúdos para os público-alvo acima definidos.

O *site* que foi desenvolvido, “BIMVET3” (<https://bimvet3.eu/>), recebeu o nome do projeto e é o principal suporte de partilha entre os estudantes, ou público em geral. A terceira fase consistiu no teste, quer dos materiais desenvolvidos, quer na forma como foram disponibilizados na plataforma.

A Figura 1 ilustra o fluxograma definido para o desenvolvimento e o teste dos tutoriais produzidos e disponibilizados na plataforma BIMVET3.

Figura 1
Fluxograma dos
tutoriais do programa
BIMVET3.



A plataforma está dividida em várias secções com explicação dos objetivos do projeto, o público alvo, a estrutura dos cursos, as competências, e a metodologia de aprendizagem. Existem 10 blocos de tutoriais de aprendizagem, cada um com a indicação dos principais objetivos do bloco, os resultados de aprendizagem e os critérios de avaliação. Em cada um dos blocos são fornecidos os conteúdos programáticos que englobam tutoriais, exercícios, casos de estudo e elementos teóricos, bem como ficheiros a utilizar na aprendizagem mais prática, conforme acima referido. A plataforma *online* encontra-se traduzida em 6 idiomas (inglês, galego, lituano, português, espanhol e turco) e é o suporte pelo qual o conteúdo de treino será compartilhado.

3. Resultados

O currículo do curso de especialização desenvolvido foi designado por “*Building Information Modeling in Architecture, Engineering and Construction Industry*” e foi organizado para ser ministrado ao nível dos cursos de especialização de ensino superior. Foi estruturado em três níveis de formação, compreendendo diferentes créditos consoante os conhecimentos que forem sendo adquiridos ao longo da aprendizagem dos conteúdos do curso. O primeiro nível é o “Curso A: BIM na Indústria AEC” com 6 créditos, o nível seguinte o “Curso A+: BIM na Indústria AEC”, com 8 créditos e o nível ou versão mais avançada e mais completa corresponde ao “Curso A+B: BIM na Indústria AEC”, com 12 créditos. Cada crédito corresponde a 10 horas teóricas de treino.

Os aprovados nestes cursos de especialização ganharão competências de base para exercer a sua atividade em empresas públicas ou privadas do setor da arquitetura, engenharia e construção, que estejam a trabalhar no desenvolvimento de projetos sob a metodologia BIM, cujas atividades têm uma clara tendência para a digitalização dos processos de desenvolvimento de modelos de informação de projetos e ativos. Com a realização destes cursos, as ocupações e empregos mais relevantes são a de Modelador BIM e de Coordenador de modelos BIM.

Os conteúdos curriculares estão divididos em dez blocos, cada um com o seu tema e ferramentas, desde a introdução ao BIM, à definição do Plano BIM, modelação das várias especialidades (arquitetura e engenharias), preparação de obra e controle do

desenvolvimento dos trabalhos construtivos. Na Figura 2 e 3 estão discriminados os conteúdos curriculares do curso.

O Bloco I é essencialmente uma introdução ao BIM onde se apresenta o conceito, o desenvolvimento histórico e os principais conceitos da metodologia relacionados com o nível de desenvolvimento (LOD), os padrões BIM e os sistemas de classificação. No Bloco II é feita uma introdução às ferramentas informáticas, apresentando-se diversas soluções de *software*, que são utilizadas nas diferentes etapas BIM. São referidos os principais grupos de critérios de preparação para a aplicação do BIM e também os aspetos de coordenação e qualidade dos modelos de informação do projeto. O Bloco III dedica-se aos requisitos BIM referindo a possibilidade de aplicação da metodologia BIM nos concursos públicos bem como as diretrizes para os processos de troca de informações a serem alcançados no contexto da contratação pública. No Bloco IV aborda-se o plano de execução BIM, essencialmente para que serve e como preparar um Plano de Execução BIM (BEP – Building Execution Plan). O Bloco V apresenta as novas tecnologias de modelação BIM, mostrando conceitos e aplicações de técnicas de modelação tridimensional como *laserscanning* e a fotogrametria. O Bloco VI ensina as novas técnicas de visualização de modelos BIM como a realidade virtual e a realidade aumentada. O Bloco VII tem como objetivo ensinar a utilizar alguns *softwares*, nomeadamente o *Revit* e o *Cype Architecture*, para construir modelos BIM de arquitetura e MEP (Redes de Mecânica, Eletricidade e Hidráulica). São apresentados alguns conceitos de modelação paramétrica baseada em objetos e é feita ainda uma introdução sobre a possibilidade de aprendizagem dos princípios do BIM utilizando novas metodologias de ensino, como a gamificação. O Bloco VIII apresenta algumas ferramentas para construir modelos BIM de estruturas e modelos geométricos paramétricos de estruturas singulares. No Bloco IX apresentam-se os princípios da metodologia BIM para orçamentação, medições e gestão de obra. Por fim, o Bloco X dedica-se ao trabalho colaborativo e apresenta algumas das ferramentas disponíveis para a sua implementação.

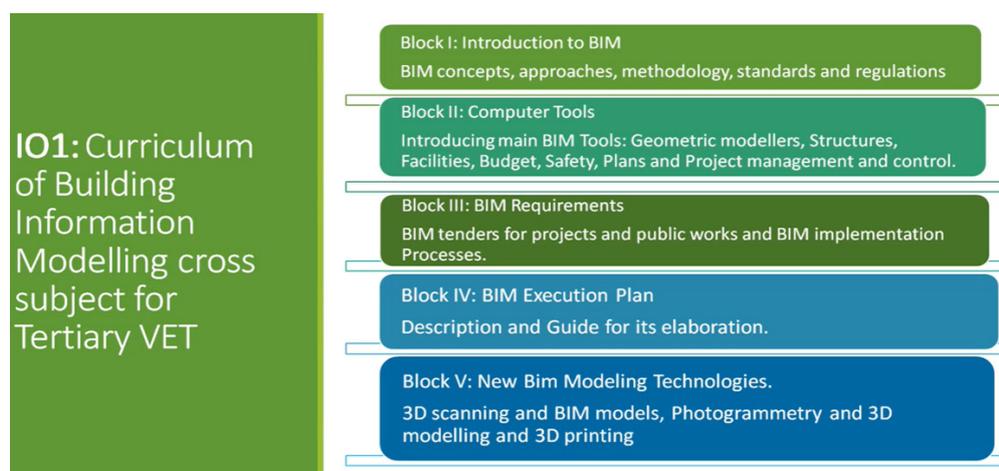
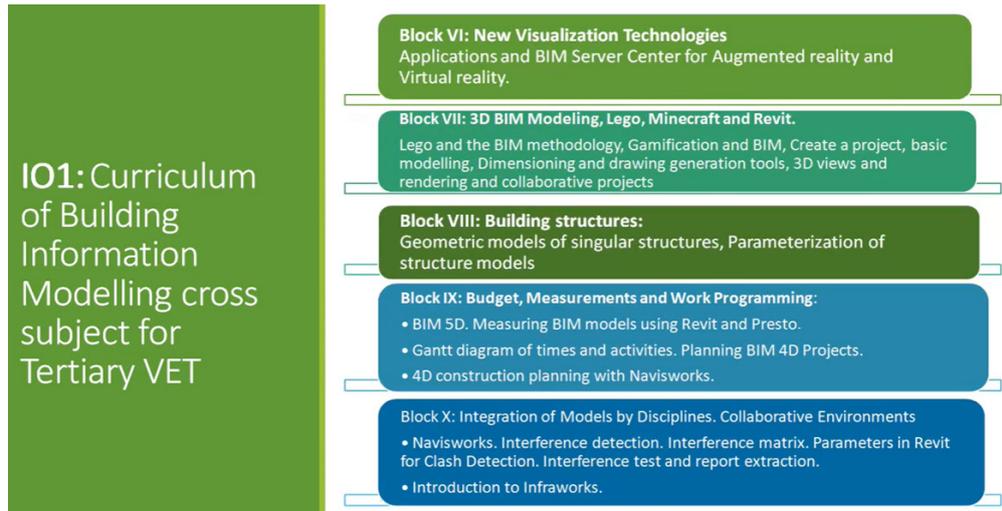


Figura 2
Índice dos conteúdos curriculares do curso (Blocos I a V).

Figura 3
Índice dos conteúdos curriculares do curso (Blocos VI a X).



Para cada um dos blocos de aprendizagem foram definidos níveis de conhecimento a adquirir e a respetiva função a desempenhar na organização, conforme identificado na Tabela 1. Para cada um desses níveis de conhecimento foi identificado um conjunto de horas a despendar em aula, com uma aprendizagem continua e sequencial pelos três níveis acima identificados (Figura 4). À medida que se vão adquirindo os conhecimentos e obtendo aprovação na avaliação das aprendizagens, o estudante vai adquirindo os créditos necessários para completar cada um dos cursos definidos.

Tabela 1: Definição dos blocos de aprendizagem para cada nível de conhecimento e função.

Level of Proficiency	Role	Block I Introduction To BIM	Block II Comp. Tools	Block III Bim Requirements	Block IV Execution Plan	Block V New Technologies	Block VI Visualization	Block VII 3D BIM Modeling	Block VIII Building Structures	Block IX Budget, Measurements	Block X Collaborative Environment
Intermediate - Production	BIM Modeler	X	X	X				X	X		
Advanced - Production	BIM Modeler	X	X	X		X	X	X	X		
Intermediate -	BIM Coordinator	X	X	X	X	X (a)	X (a)	X	X	X	X

X - compulsory
X(a) - Optional

O curso de especialização foi organizado para se adquirir, numa primeira fase, competências para analisar a documentação do projeto sob a metodologia BIM, as suas dimensões, o nível de detalhe e a definição, fluxos de trabalho, utilizações BIM, processos de colaboração para conhecer o espaço do trabalho. Depois podem ser estabelecidos os fluxos de trabalho entre as diferentes especialidades do projeto para utilizar as ferramentas informáticas necessárias de acordo com as necessidades do cliente.

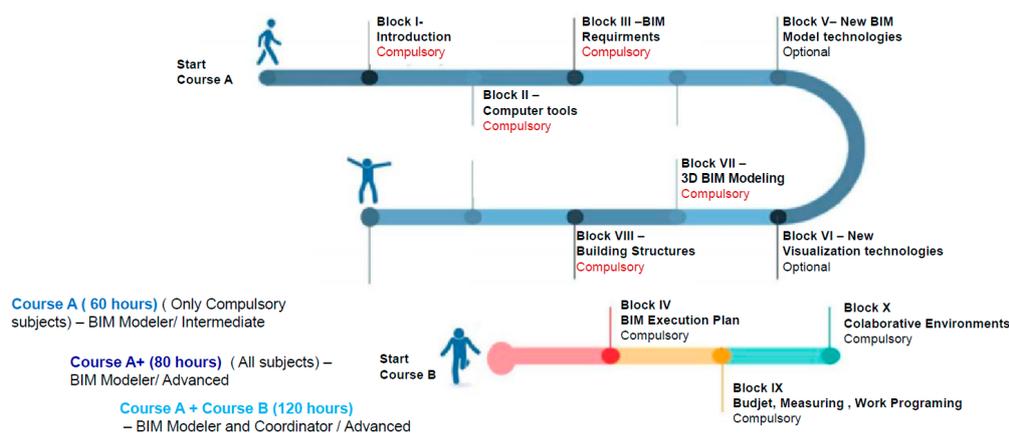


Figura 4
Definição de carga horária do curso para cada nível de conhecimento.

A fase seguinte é a da modelação dos objetos BIM de diferentes especialidades, introduzindo os parâmetros necessários armazenar a informação gráfica e não gráfica necessária, recorrendo ao uso de ferramentas informáticas BIM para obter as informações e dados do modelo virtual. O objetivo é a obtenção de modelos de edifícios e infraestruturas de diferentes disciplinas e especialidades para dispor de modelos de informação de projeto, de modo a realizar os processos de deteção de colisões dos modelos para comunicar e resolver incompatibilidades entre eles, melhorando a eficiência do projeto.

Desses modelos virtuais pretende-se projetar e gerar modelos de visualização personalizados e que permitam extrair de forma automática documentação de apoio à preparação e definição da obra, com a vinculação de modelos BIM a diagramas de planeamento de obra para supervisionar e controlar as diferentes fases de execução. Com este curso pretende-se desenvolver também a criatividade e o espírito de inovação para responder aos desafios que surgem nos processos e na organização do trabalho.

As competências específicas desta abordagem podem ser resumidas nos seguintes pontos:

1. Elaborar a documentação técnica do projeto no âmbito da metodologia BIM, suas dimensões, nível de detalhe e definição, fluxos de trabalho, utilizações BIM, processos de colaboração, entre outros.
2. Determinar e representar os processos de trabalho entre as diferentes especialidades do projeto de acordo com os requisitos estabelecidos.
3. Desenvolver objetos BIM de diferentes especialidades introduzindo os parâmetros necessários.
4. Identificar os processos de modelação de informação gráfica e não gráfica para obtenção de informações e dados do modelo virtual.
5. Desenvolver maquetes virtuais com informações gráficas e não gráficas das diferentes especialidades presentes no projeto.
6. Reportar os resultados e medidas a adotar após submeter o modelo federado à deteção de colisões.

7. Configurar *templates* de visualização customizados e desenhos do modelo para automatização da criação de documentação.
8. Supervisionar e controlar o modelo a partir da associação de diagramas de planeamento de obra.
9. Associar bases de dados de preços ao modelo BIM permitindo a automatização da criação de orçamento.
10. Obter modelos tridimensionais de nuvens de pontos e outras tecnologias a partir do levantamento do estado atual com tecnologia de *scanner* 3D e tratamento da informação.
11. Aplicar técnicas de realidade aumentada, mista e virtual a modelos BIM para visualização do modelo.
12. Gerir e administrar a informação dos modelos virtuais que possam ser necessários nos processos de gestão de manutenção de ativos e contribuindo para as necessidades da economia circular.

Assim, a competência geral deste curso de especialização consiste em desenvolver e modelar a informação gráfica e não gráfica de projetos de Arquitetura, Engenharia e Construção sob a metodologia BIM nas suas diferentes dimensões, bem como colaborar nos processos de projetos, respeitando os requisitos do cliente (Solicitações de Informação do Empregador) e as prescrições estabelecidas no Plano de Execução BIM (BEP – Building Execution Plan).

4. Conclusões

O curso oferecido na plataforma BIMVET3, no âmbito do Projeto Europeu Erasmus+, pretende ajudar e formar profissionais na área da modelação usando a metodologia BIM, sendo uma ferramenta de apoio importante para os professores que dela queiram fazer uso, com a construção de tutoriais e modelos de avaliação da aprendizagem adquirida.

Corresponde às mais recentes necessidades do mercado de trabalho das empresas de projeto e de construção que se queiram modernizar usando esta metodologia, dotando os seus profissionais de uma elevada competência técnica no tema.

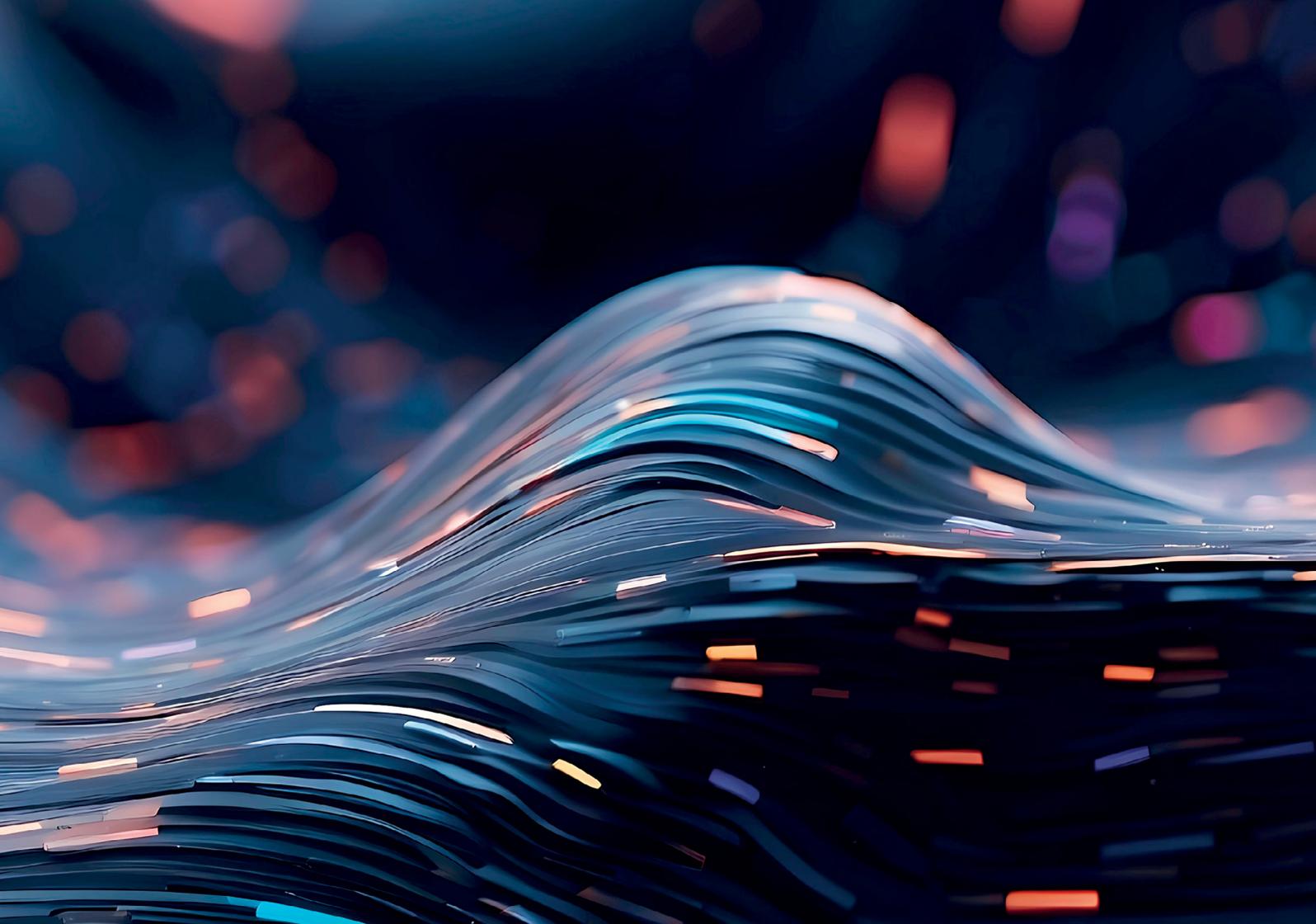
A plataforma BIMVET3 apresenta conteúdos de formação sem representar custos acrescidos para a leção deste tema, sendo acessível a todos, como objetivo do Projeto Europeu Erasmus+.

5. Agradecimentos

Este trabalho é suportado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e Centro 2020 através dos seguintes projetos: UIDB/04044/2020, UIDP/04044/2020, UIDB/00308/2020 e PAMI – ROTEIRO/0328/2013 (N.º 022158).

Referências

- [1] Grupo de trabalho Lean na Construção, "Guia Prático – Lean na Construção" Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção, 2016.
- [2] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee, P. Teicholz, *BIM Handbook: a guide to building Information Modeling for Owners, Managers, Engineers and Contractors*. John Wiley&Sons, 3rd Edition, 2018.
- [3] J. Fridrich and K. Kubečka, "BIM – The Process of Modern Civil Engineering in Higher Education," *Procedia – Soc. Behav. Sci.*, vol. 141, pp. 763-767, 2014.



Livro de atas do Congresso ptBIM 2024, onde se promove a discussão técnico-científica em língua Portuguesa da metodologia 'Building Information Modelling' (BIM), envolvendo a participação ativa das comunidades profissional e académica das áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção. Pretende-se enfatizar os problemas e esforços de implementação BIM no Ambiente Construído e reforçar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.

<https://ptbim.org/>



UMinho Editora



Universidade do Minho

ISBN 978-989-9074-37-8



9 789899 074378 >