



VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

A inovação e o desafio do projeto na sociedade: A qualidade como alvo

Londrina, 17 a 19 de Novembro de 2021

VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIAS ENTRE ESPECIALIDADES DE PROJETO BIM: UM CASO PRÁTICO¹

CLASH DETECTION BETWEEN BIM PROJECT SPECIALTIES: A PRACTICAL CASE

SOUZA, Marcio Presente de (1); FIALHO, Beatriz Campos (2); FABRICIO, Márcio Minto (3)

(1) Universidade de São Paulo, marciopresente@usp.br

(2) Universidade de São Paulo, beatriz.fialho@usp.br

(3) Universidade de São Paulo, marcio.m.fabricio@usp.br

RESUMO

O BIM tem impactado significativamente os processos de trabalho na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Especificamente na área de projetos, novos recursos tecnológicos e processuais providos pelo BIM facilitam o processo de colaboração entre equipes multidisciplinares e a melhoria da qualidade dos projetos. Neste contexto, a integração entre disciplinas ocorre pelo desenvolvimento de um modelo federado BIM, capaz de combinar em um modelo único as diferentes especialidades. O objetivo deste artigo é demonstrar o processo de verificação de interferências no ambiente BIM com auxílio de um modelo federado. Para isso, apresenta um caso prático de modelagem BIM de projetos baseados em CAD de um edifício existente. Os procedimentos metodológicos são divididos em quatro etapas: (i) Levantamento dos projetos originais e visita de reconhecimento; (ii) modelagem das disciplinas; (iii) federação e verificação de interferências; (iv) análises comparativas. Resultados obtidos sugerem que parte dos conflitos de projeto do edifício existente foram resolvidos durante a execução da obra, no entanto, seriam facilmente identificáveis pelo uso da verificação de interferências em ambiente BIM. Complementarmente, dimensões fundamentais associadas ao BIM puderam ser exercitadas, demonstrando o potencial dessa nova abordagem para a coordenação de projetos e extração de informações geométricas e não-geométricas relevantes.

Palavras-chave: Modelo Federado, Disciplinas de Projeto, BIM, Revit.

ABSTRACT

BIM has significantly impacted work processes in the Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) industry. Specifically in the design area, new technological and procedural resources provided by BIM facilitate the process of collaboration between multidisciplinary teams and improve the quality of projects. In this context, the integration between disciplines occurs through the development of a federated BIM model, capable of combining different specialties into a single model. The purpose of this article is to demonstrate the interference verification process in the BIM environment with the help of a federated model. For this, it presents a practical case of BIM modeling of CAD-based designs

¹ SOUZA, M. P.; FIALHO, B. C.; FABRICIO, M. M. Verificação de interferências entre especialidades de projeto BIM: um caso prático. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO, 7., 2021, Londrina. Anais... Londrina: PPU/UUEL/UEM, 2021. p. 1-10. DOI <https://doi.org/10.29327/sbqp2021.438092>

of an existing building. The methodological procedures are divided into four stages: (i) Survey of original projects and recognition visit; (ii) modeling of disciplines; (iii) federation and interference verification; (iv) comparative analyses. Results obtained suggest that part of the design conflicts of the existing building were resolved during the execution of the work, however, they would be easily identifiable by the use of interference verification in a BIM environment. In addition, fundamental dimensions associated with BIM could be exercised, demonstrating the potential of this new approach for project coordination and extraction of relevant geometric and non-geometric information.

Keywords: Federated Model, Design Disciplines, BIM, Revit.

1 INTRODUÇÃO

A Modelagem da Informação da Construção (BIM) tem impactado significativamente os processos de trabalho na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) diante da inovação tecnológica profunda baseada em três dimensões fundamentais - tecnologia, processos e pessoas – associados a procedimentos, normas e boas práticas de trabalho (ABDI, 2017; SUCCAR; KASSEM, 2015). Particularmente na área de projetos, novos recursos trazidos com o BIM permitem aperfeiçoar a colaboração e melhorar a troca de informação entre softwares e pessoas e a automatização de processos (SACKS et al., 2018).

Pode-se afirmar que a base das plataformas BIM foi influenciada pelos precursores sistemas CAD (*Computer Aided Design*), mantendo a mesma prática de trabalho onde os projetistas desenvolvem modelos individuais para cada especialidade da construção (SOLIHIN; EASTMAN; LEE, 2016). Nota-se que, desde os anos 1990, os sistemas CAD buscavam centralizar a informação em um arquivo e vincular itens complementares para criar uma visão geral do projeto, como verifica-se no software *Autodesk AutoCAD* por meio de arquivos com extensão *XRef* (SOLIHIN; EASTMAN; LEE, 2016).

Apesar dos conceitos iniciais semelhantes, os softwares BIM produzem modelos complexos com grande quantidade de informação, demandando aprimoramentos tanto nos processos de modelagem quanto na coordenação e compatibilização de projetos. Enquanto nos processos de trabalho em CAD a compatibilização entre disciplinas é um processo manual exaustivo, por vezes, deficitário e limitado (CRESPO; RUSCHEL, 2007), no BIM o efeito indesejado de retrabalho para compatibilização é reduzido. Têm-se uma construção virtual com a representação do projeto e mais uma infinidade de informações vinculadas aos recursos que cada software proporciona. Um destes recursos explorados neste estudo é a federação de modelos BIM, que é a atividade de criação de um modelo de informação composto por blocos de informações independentes (ISO, 2018a).

O atual conceito de modelo federado, que vincula (não mescla) vários modelos monodisciplinares (BIM INITIATIVE, 2019), assim como de BIM, é decorrente do avanço nas tecnologias da informação, mas não necessariamente retrata uma nova abordagem. Um modelo federado é obtido a partir da combinação em modelo único de vários outros das diferentes disciplinas de projeto base – arquitetura, estrutura e complementares (sistemas MEP - *Mechanical, Electrical and Plumbing*), tarefa comumente atribuída para um profissional chamado de “gerente BIM” (LEITE, 2020). Sua criação não está associada, necessariamente, à união de arquivos em um único modelo, mas na ação de estabelecer conexões entre diversos modelos para que apoiem um sistema de colaboração multidisciplinar para gerenciar informações. O gerenciamento do modelo federado é um meio

para troca de grande quantidade de informações entre equipes multidisciplinares, permitindo que cada indivíduo trabalhe sua especialidade e depois compartilhe as informações necessárias para coordenação do projeto como um todo (FISCHER et al., 2017). Desta forma, seu objetivo é vincular diferentes disciplinas de um empreendimento, permitindo analisar soluções projetuais e testar possíveis conflitos entre sistemas construtivos. Estes “conflitos de projeto” são identificados na verificação de interferências (ou *clash detection*), entendidos como sobreposições indesejadas de componentes da construção representados por subsistemas individuais (estrutura, elétrica, hidráulica, ar condicionado, dentre outros) (PÄRN; EDWARDS; SING, 2018).

A verificação de interferências é um procedimento fundamental no processo de coordenação entre disciplinas BIM em projetos de grande porte devido à complexidade do fluxo de trabalho multidisciplinar. Esta ação é essencial para evitar os retrabalhos com revisões de projetos decorrente de compatibilizações. Diante do exposto, este estudo objetivou demonstrar os benefícios da aplicação de recursos de verificação de interferências na compatibilização de projetos. Definiu-se um caso prático de estudo para modelagem dos projetos em BIM, realização da verificação de interferências em um modelo federado, a análise dos projetos originais em CAD e a análise das soluções adotadas no edifício construído.

2 MÉTODO

A definição do caso prático de estudo para verificação de interferências entre diferentes especialidades de projetos, partiu de uma atividade de modelagem desenvolvida em uma disciplina de pós-graduação no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Os projetos modelados neste estudo referem-se ao edifício Moradia Estudantil “E” localizado no campus da USP em São Carlos - SP.

O projeto arquitetônico original foi desenvolvido pela equipe técnica da Prefeitura do Campus, enquanto os projetos complementares – Estrutura, Hidráulica e Elétrica – foram terceirizados. O edifício possui 1.418,00 m² de área construída, distribuído em duas alas e três níveis principais, além do sótão e casa de máquinas. Suas instalações incluem 30 dormitórios, quatro conjuntos de sanitários e vestiários, cozinha comunitária, área de serviço, espaços de estudo e convivência. O sistema construtivo compreende estrutura de concreto moldada no local, fechamentos em alvenaria de blocos cerâmicos e elementos vazados de concreto, guarda-corpos metálicos, cobertura em telhas cerâmicas sobre laje e esquadrias externas em alumínio e vidro.

A sequência de procedimentos metodológicos consistiu em quatro etapas:

Figura 1 – Etapas do estudo



Fonte: Os autores

Na primeira etapa toda a documentação necessária para a modelagem do edifício, incluindo os arquivos dos projetos complementares, foi fornecida pela

equipe da Prefeitura do Campus USP-São Carlos. Todos produzidos no software *AutoCAD* em formato *dwg*. Uma visita ao edifício foi realizada, com o objetivo de visualizar as soluções projetuais e realizar um registro fotográfico. Esta documentação e a visita de reconhecimento ao edifício subsidiou as etapas seguintes.

A plataforma *Revit* da *Autodesk* foi adotada em virtude da experiência prévia dos autores com o software e pelo oferecimento de ferramentas de modelagem nativas das diferentes especialidades. Requisitos técnicos foram estabelecidos previamente com a equipe, como: o formato dos arquivos, as unidades de medidas, as coordenadas geográficas, o nível de implantação do edifício, o Nível de Desenvolvimento (LOD) do modelo, os *templates* e famílias BIM. Todos os arquivos de referência, como projetos originais, registros fotográficos, e arquivos BIM foram reunidos em uma pasta compartilhada em um drive de equipe na nuvem.

3 RESULTADOS

3.1 Modelagem de disciplinas de Arquitetura e Estrutura

Nesta etapa foi realizado o planejamento das atividades, visando orientar os profissionais envolvidos quanto ao conteúdo, formato dos arquivos e às ferramentas e processos de trabalho para modelagem, colaboração e coordenação. O referencial teórico usado foi o conjunto de normativas internacionais ISO/DIS 19650 (ISO, 2018a: 2018b), e o *Exchange Information Requirements (EIR)*, documento que estabelece requisitos técnicos e gerenciais necessários para orientar equipes de trabalho em BIM.

Baseado no fluxo de trabalho sugerido por Kirby, Krygiel e Kim (2018), definiu-se que as disciplinas de Arquitetura e Estrutura fossem modeladas em um único arquivo com o objetivo de compor um Modelo Central BIM que foi compartilhado com os demais projetistas. A modelagem arquitetônica teve início com configuração das unidades e inserção dos níveis acabados dos pavimentos, conforme o projeto original do edifício. Em seguida, as plantas arquitetônicas em formato *dwg* foram importadas, orientando o posicionamento dos eixos estruturais e a modelagem de paredes, pisos, escadas, rampas, guarda-corpos e coberturas. Também foram inseridas as famílias de esquadrias, peças sanitárias e demais componentes, sendo algumas delas editadas para concordância com o projeto.

Para o desenvolvimento do modelo estrutural, foram importadas as plantas *dwg* das fôrmas de todos os níveis, orientando o lançamento dos elementos de fundação, pilares e vigas. Famílias de elementos estruturais produzidas pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE)² foram utilizadas no modelo e ajustadas em conformidade com o projeto. Encerrada a modelagem da Arquitetura e Estrutura, o modelo foi convertido em um Modelo Central, utilizando-se a funcionalidade de colaboração “*Worksets*”. Nesta ação, criam-se *worksets* padrões para controlar permissões de alteração em determinados elementos do modelo, gerenciando o processo de colaboração entre a equipe. A Figura 2 apresenta o registro dos visuais externos do edifício e uma perspectiva do modelo BIM contendo as disciplinas de Arquitetura e Estrutura.

² Disponível em <https://produtostecnicos.fde.sp.gov.br/Login.aspx>. Acesso em 20 de mai. 2021.

Figura 2 – Fotos do edifício e o modelo BIM



Fonte: Foto dos autores e modelo BIM baseado nos projetos originais do edifício

3.2 Modelagem de disciplinas de Hidráulica e Elétrica

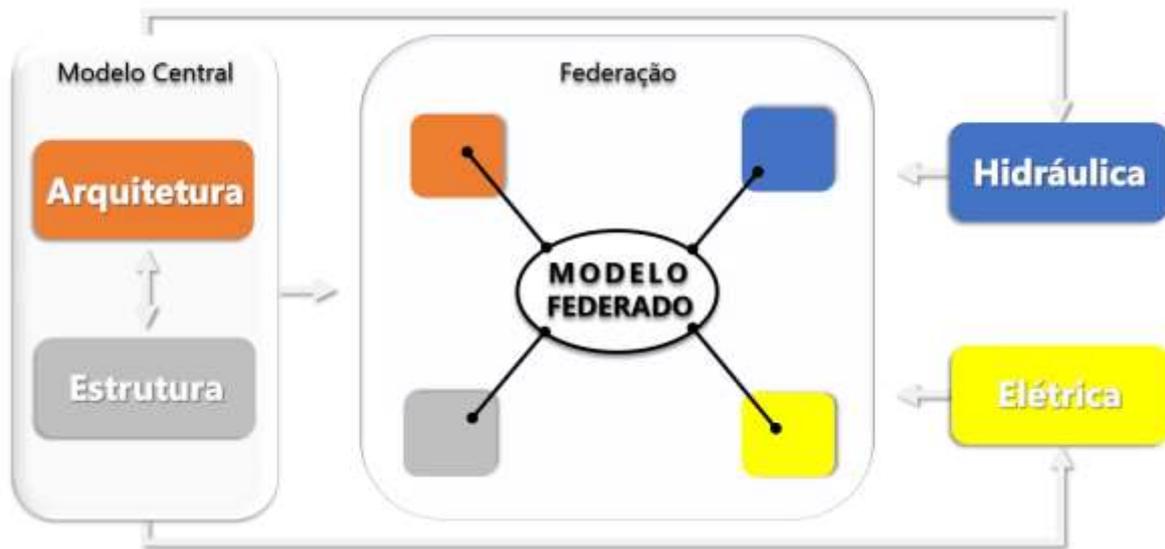
A modelagem dos sistemas Hidráulicos foi precedida por uma análise do projeto hidráulico executivo, compreendendo a organização dos subsistemas. O projetista responsável por essa disciplina trabalhou vinculando o Modelo Central ao seu arquivo próprio que contém o *template* de sistemas hidráulicos. O *template* da disciplina foi organizado em três seções - Coordenação, Água Fria e Esgoto - facilitando o processo de modelagem separando os componentes de cada sistema e permitindo a visualização, quando necessário, das duas seções na aba de coordenação. Com o uso do recurso "links" o projetista obteve do Modelo Central apenas referências de posicionamento das tubulações e peças sanitárias, a partir das quais os dutos foram modelados. Esta estratégia não sobrecarrega o processamento do arquivo, fator essencial para a eficiência do processo. O modelo Elétrico BIM segue os mesmos princípios de modelagem usados no Hidráulico, partindo da inserção do modelo central no *template* elétrico através de um link, gerando um modelo vinculado que pode ser atualizado constantemente.

3.3 Federação

O Modelo Federado foi produzido a partir da vinculação entre o Modelo Central e os modelos BIM de Hidráulica e Elétrica em um arquivo único (Figura 3). A maior vantagem deste recurso é a capacidade de antever problemas de projeto que poderiam passar despercebidos em caso de falta de comunicação ou compatibilização entre disciplinas. Além disso, o BIM viabiliza a automatização da verificação de interferências, tornando o processo mais rápido e reduzindo a possibilidade de erros que um processo manual poderia acarretar.

Cabe destacar que as diferentes formas de representação dos modelos, com os sistemas de vedações transparentes e sistemas complementares em meio tom, facilitam a identificação pelos projetistas dos itens mostrados nos relatórios de interferências geradas, agilizando eventuais ajustes de compatibilização, como mostrado na Figura 4.

Figura 3 – Conceito de federação dos Modelos BIM



Fonte: Os autores

Figura 4 – Representação do Modelo Federado desenvolvido no estudo



Fonte: Os autores

3.4 Verificação de Interferências e análises dos projetos

Existem softwares específicos com recursos mais avançados para execução de verificações de interferências como *Navisworks* e *Solibri*. No entanto, optou-se pela realização da verificação com a ferramenta nativa do Revit, que atende o objetivo deste estudo. Nesta ferramenta é possível selecionar quais famílias do projeto

devem ser confrontadas para a detecção de possíveis conflitos. Conforme definido na Etapa 3, dois testes foram realizados para a verificação de interferências.

1º Verificação de Interferências entre Arquitetura e Estrutura. Nesse primeiro teste foi utilizado apenas o Modelo Central. Por possuir apenas duas disciplinas, o Modelo Central é mais “leve” para o processamento, agilizando a continuidade do fluxo de trabalho. Inicialmente foram definidos os elementos de cada categoria a serem verificados. Pilares, pisos, rampas, escadas e paredes foram excluídos da verificação, tendo em vista que suas integrações com os elementos estruturais correspondem a uma característica construtiva do sistema, e não a uma interferência. Foram apontados 34 itens no relatório, que foram analisados individualmente para estabelecer se efetivamente se tratava de um conflito de projeto.

2º Verificação entre Arquitetura e Estrutura com Hidráulica e Elétrica. O Modelo Central foi confrontado com os sistemas Hidráulicos e Elétricos gerando dois relatórios. No primeiro, os componentes conflitantes entre o Modelo Central e os sistemas Hidráulicos foram exibidos em uma lista organizada por categorias das famílias. As demais categorias de interferências encontradas neste primeiro relatório foram sintetizadas no Quadro 1, bem como as ações realizadas para solucioná-las:

Quadro 1 – Relatório de interferências entre Arquitetura e Estrutura com Hidráulica

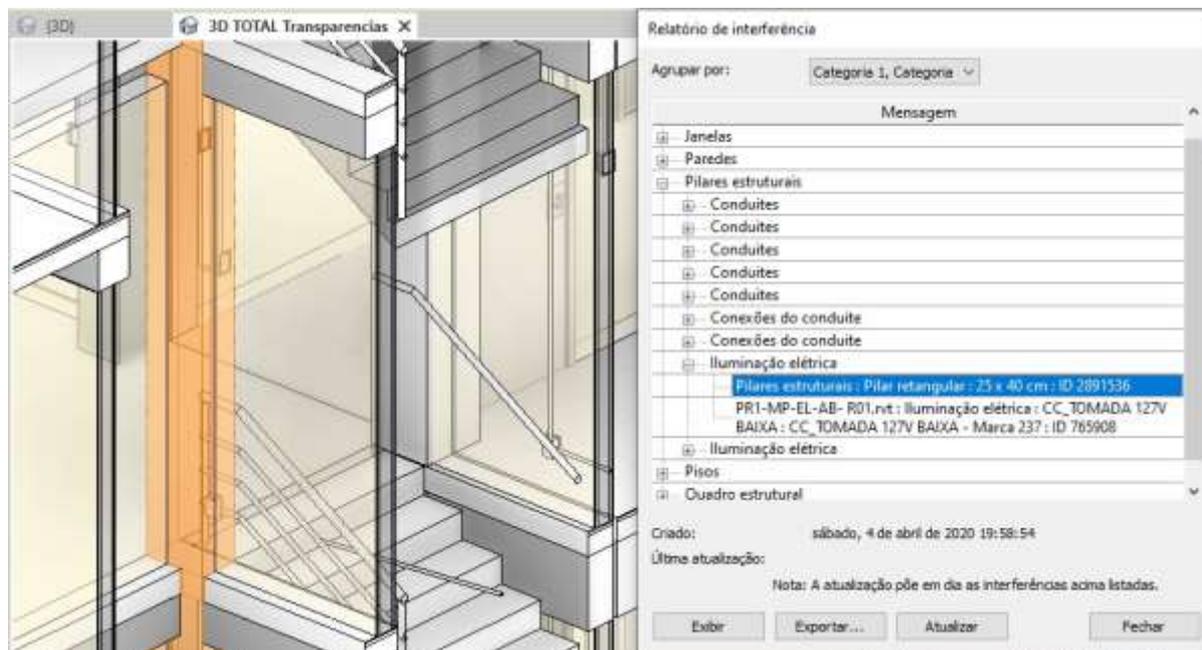
Categorias/Famílias	Interferência	Ação
Fundações Estruturais	Sobreposição de tubulações de abastecimento e ramais de esgoto com as fundações.	Verificação da profundidade das sapatas no projeto original e sobreposição com o elemento construído.
Guarda-Corpo	Sobreposição da base do guarda-corpo na rampa de acesso com uma caixa de gordura do sistema de esgoto.	Verificação da posição da caixa de gordura no projeto e confronto com o elemento construído.
Parede	Falta de alinhamento entre registros e peças sanitárias com a face externa da parede.	Alinhamento das conexões e das peças sanitárias com as faces da parede.
Pilares Estruturais	Intersecção do Ramal de esgoto com um pilar estrutural.	Verificação do posicionamento no projeto original e ajuste da tubulação.
Pisos	Sobreposição de Ramais de esgoto dos banheiros com o piso do ambiente.	Verificação da inclinação no projeto original e ajuste manual dos conflitos.
Quadro Estrutural	Intersecção de ramais de esgoto e abastecimento com vigas nos pavimentos.	Conferência do posicionamento da tubulação e vigas em ambos os projetos. Análises do edifício construído.

Fonte: Os autores

Um segundo Relatório de Interferências revelou os conflitos do Modelo Central com a disciplina Elétrica. A maioria dos resultados apontou componentes posicionados erroneamente, como no exemplo da Figura 5, que revela a intersecção de

condutas e caixas de passagem embutidas nos pilares estruturais do edifício. Uma série de condutas e luminárias embutidas nas lajes também foram identificadas como interferências, no entanto, na análise manual estes tipos de interferências foram ignoradas por não representarem conflitos reais, mas sim especificidades da forma de execução da construção.

Figura 5 – Interferência detectada entre Arquitetura e Estrutura com Elétrica



Fonte: Os autores

Ao final do processo, análises dos projetos originais em CAD, o modelo federado BIM e o edifício construído permitiram constatações relevantes. Verificou-se, analisando as fotografias do edifício construído, que algumas interferências, principalmente dos sistemas hidráulicos, foram resolvidas diretamente na obra, e provavelmente identificadas apenas no momento da execução. Algumas tubulações não foram executadas conforme o projeto original pois necessitaram ser desviadas por estarem sobrepostas a outros elementos como esquadrias. Ajustes de posicionamento do sistema de esgoto nas calçadas externas do edifício também foram adaptadas e não estão posicionadas exatamente como registrado no projeto original. Isto pode ser justificado pela dificuldade de visualização de interferências no formato de apresentação dos projetos originais em dwg na plataforma CAD, ou ainda, pela realização de um processo deficitário de compatibilização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo generalista, o caso prático de estudo, ainda que obtido por meio da reprodução dos projetos de um edifício existente, reafirmou as prerrogativas expostas inicialmente sobre as implicações necessárias para adoção da Modelagem da Informação da Construção. Foram observados pontos fundamentais associados às três dimensões BIM - tecnologia, processos e pessoas – e que puderam ser exercitados por meio da realização deste estudo. A dimensão tecnológica pôde ser exercitada à medida que exigiu dos autores um esforço para aprendizagem de ferramentas para coordenação e compatibilização de disciplinas

que estão diretamente relacionadas aos novos processos que o BIM demanda. Quanto aos processos, o exercício ampliou a visão dos autores sobre dinâmicas organizacionais atreladas ao BIM, introduzindo noções sobre planos de execução BIM, definições de responsabilidades, modelos entregáveis, dentre outros conceitos definidos no material normativo consultado (ISO, 2018a; 2018b). Em relação à dimensão “pessoas”, pôde-se ter um primeiro contato com as competências necessárias para os profissionais AECO na adoção do BIM em suas práticas de trabalho. Vivenciaram-se algumas dificuldades nas relações de trabalho colaborativo, como inserções de famílias de componentes; estratégias de controle da informação; definição de regras de elaboração de bibliotecas e modelagem de famílias; delimitações de atividades e responsabilidades.

A superação dessas dificuldades envolve um esforço conjunto da indústria, seja por meio da atualização de currículos para treinamento e capacitação dos profissionais para modelagem e colaboração (DE SOUZA et al., 2021); da elaboração de bibliotecas e famílias de componentes, *templates* de projeto e protocolos e padrões para colaboração (ORAE et al., 2019; SACKS et al., 2018; SOLIHIN, EASTMAN, LEE, 2016) entre escritórios e construtoras; e da ampliação de políticas e normas (ORAE et al., 2019) para a efetiva adoção do BIM nas fases de projeto e obra.

De modo específico, baseado no resultado obtido pela verificação das interferências entre as disciplinas de projeto no modelo federado BIM, infere-se que alguns problemas de projeto poderiam ser evitados no início do projeto, reduzindo erros na execução do edifício que levaram a adaptações durante a obra. Constatou-se que o processo de projeto BIM poderia minimizar uma série de erros entre especialidades, identificando problemas por meio de testes simples de conflitos que poderiam ser discutidos entre projetistas de modo colaborativo (FISCHER et al., 2017), auxiliando no encontro de soluções mais adequadas às demandas específicas. Além disso, a disponibilidade de informações geométricas e não-geométricas do edifício em vistas bidimensionais e tridimensionais bem como em relatórios de verificação de interferências entre disciplinas ampliou a qualidade da documentação produzida, subsidiando a tomada de decisão nas fases de projeto e execução.

Neste estudo, a verificação teve um caráter exploratório, cuja finalidade foi demonstrar o potencial desta atividade de identificar conflitos entre especialidades de modo automatizado. Algumas limitações e dificuldades detectadas se devem à natureza didática da atividade, conduzida no âmbito de uma disciplina de pós-graduação e com profissionais especialistas em apenas duas áreas (Arquitetura e Estrutura). De fato, a realização deste estudo em um ambiente real implicaria em novos e diferentes desafios dos profissionais na condução das atividades. Diante disso, estudos futuros com novas ferramentas de modelagem, de verificação de interferências e equipes multidisciplinares de projeto (incluindo especialistas em hidráulica e elétrica, e gestores de projeto), são recomendados, no intuito de aprofundar as investigações quanto aos benefícios e desafios da modelagem e colaboração BIM em um contexto real.

AGRADECIMENTOS

Este estudo teve apoio da CAPES – Código de financiamento 001 e do CNPq. Os autores também agradecem à Prefeitura do Campus da USP-São Carlos, em

especial à arquiteta Sônia Costardi, que forneceu os projetos originais do edifício e a autorização de uso neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Coletânea Guias BIM**. Volumes 1-6. ABDI-MDIC, 2017.
- BIM INITIATIVE. **BIM Dictionary - Federated Model**, 2019. Disponível em: <https://bimdictionary.com/en/federated-model/1>. Acesso em: 10 mai. 2021.
- CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. *In: Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil*, 3., 2007. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2007.
- DE SOUZA, M. P.; FIALHO, B. C.; FERREIRA, R. C.; FABRICIO, M. M.; CODINHOTO, R. Modelling and coordination of building design: an experience of BIM learning/upskilling. **Architectural Engineering and Design Management**, v. Online, p. 1-18, 2021. <http://dx.doi.org/10.1080/17452007.2021.1970506>
- FISCHER, M.; ASHCRAFT, H.; REED, D.; KHANZODE, A. **Integrating Project Delivery**. Hoboken: Wiley, 2017.
- ISO. ISO/DIS 19650-1 Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and Principles. **The International Organization for Standardization (ISO) and Draft International Standard (DIS)**, v. 2018, p. i-32, 2018a.
- ISO. ISO/DIS 19650-1 Organization of information about construction works — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets. **The International Organization for Standardization (ISO) and Draft International Standard (DIS)**, v. 2018, p. i-29, 2018b.
- KIRBY, L.; KRYGIEL, E.; KIM, M. **Mastering Autodesk Revit 2018**. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2018.
- LEITE, F. L. **BIM for Design Coordination: A Virtual Design and Construction Guide for Designers, General Contractors, and MEP Subcontractors**. 1. ed. Hoboken: Wiley & Sons, 2020.
- ORAE, M.; HOSSEINI, R. M.; EDWARDS, D. J.; LI, H.; PAPADONIKOLAKI, E.; CAO, D. Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. **International Journal of Project Management**, v. 37, n.6, August 2019, p. 839-854, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.05.004>
- PÄRN, E. A.; EDWARDS, D. J.; SING, M. C. P. Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model. **Automation in Construction**, v. 85, n. December 2016, p. 209-219, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.010>
- SACKS, R. et al. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.
- SUCCAR, B.; KASSEM, M. Macro-BIM adoption: Conceptual structures. **Automation in Construction**, v. 57, p. 64-79, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018>
- SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.; LEE, Y. C. A framework for fully integrated building information models in a federated environment. **Advanced Engineering Informatics**, v. 30, n. 2, p. 168-189, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.02.007>