



USO DA TECNOLOGIA BIM NA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS: ESTUDO DE CASO EM EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL

Use of BIM technology in project coordination: a case study in residential building

Uso de la tecnología BIM en la compatibilización de proyectos: estudio de caso en edificación residencial

Jamile Cristine de Souza Oliveira¹, Thayná Cavalcante Tavares², e Dimas de Castro e Silva Neto³

^{1,2,3}Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências e Tecnologia

¹jamile.cristine@aluno.ufca.edu.br ²t.cavalcante.ec@gmail.com ³dimas.castro@ufca.edu.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 23.04.2025

Aprovado: 10.09.2025

Disponibilizado: 22.09.2025

PALAVRAS-CHAVE: BIM; Compatibilização de projetos; Interferências.

KEYWORDS: BIM; Project compatibility; Interferences.

PALABRAS CLAVE: BIM; Compatibilidad de proyectos; Interferencias.

***Autor Correspondente:** Tavares, T. C.

RESUMO

A compatibilização de projetos contribui para evitar inconsistências entre disciplinas, mas nem sempre é bem conduzida quando feita com ferramentas bidimensionais. Neste estudo, analisou-se a aplicação da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) na detecção de interferências entre os projetos arquitetônico, estrutural e hidrossanitário de uma residência unifamiliar. A metodologia incluiu a modelagem dos projetos no software Revit e a análise de conflitos no Navisworks, com uso do recurso *Clash Detective*. Foram identificadas 72 interferências: 31 entre os elementos arquitetônicos e estruturais, e 41 entre estrutura e instalações hidrossanitárias. Parte dos conflitos foi resolvida com ajustes simples nos modelos, mas alguns, especialmente os relacionados às tubulações, exigiram alterações no traçado e revisão de elementos estruturais. A experiência mostrou que o uso de modelos 3D favorece a antecipação de problemas ainda na fase de projeto, o que pode reduzir retrabalho e facilitar a tomada de decisão técnica. Apesar da análise estar limitada a um único projeto, os resultados obtidos dialogam com estudos anteriores sobre o uso do BIM na construção civil, indicando benefícios práticos para a coordenação de projetos.

ABSTRACT

Project coordination helps to prevent inconsistencies among disciplines but is often limited when conducted using two-dimensional tools. This study examined the use of Building Information Modeling (BIM) technology to identify clashes between architectural, structural, and plumbing designs in a single-family residential building. The methodology involved creating 3D models using Revit software and performing clash detection in Navisworks with the Clash Detective tool. A total of 72 clashes were identified: 31 between architectural and structural elements, and 41 between structural components and plumbing systems. Some conflicts were resolved through minor modeling adjustments, while others—especially those involving piping—required route modifications and revisions to structural elements. The results suggest that 3D modeling supports early detection of design issues, helping to reduce rework and inform technical decisions. Although limited to a single case, the findings align with previous research on BIM in construction and point to practical advantages for project coordination.

RESUMEN

La coordinación de proyectos ayuda a evitar discrepancias entre disciplinas, aunque suele verse limitada cuando se realiza con herramientas bidimensionales. Este estudio analizó el uso de la tecnología BIM (Building Information Modeling) para detectar interferencias entre los proyectos arquitectónico, estructural e hidrosanitario de una vivienda unifamiliar. La metodología incluyó la creación de modelos tridimensionales en Revit y el análisis de colisiones en Navisworks mediante la herramienta Clash Detective. Se identificaron 72 interferencias: 31 entre los elementos arquitectónicos y estructurales, y 41 entre la estructura y las instalaciones hidrosanitarias. Algunos conflictos se resolvieron con ajustes menores en la modelación, mientras que otros —especialmente los relacionados con tuberías— requirieron modificaciones en los recorridos y revisiones de elementos estructurales. Los resultados muestran que la modelación 3D permite anticipar problemas durante la fase de diseño, lo que ayuda a evitar retrabajos y facilita la toma de decisiones técnicas. Aunque se trata de un caso único, los hallazgos coinciden con estudios previos sobre el uso de BIM en la construcción y señalan beneficios prácticos en la coordinación de proyectos.



INTRODUÇÃO

A crescente complexidade dos projetos residenciais e o aumento dos problemas entre as partes do projeto levaram à busca por formas mais eficazes de coordenar os projetos. Entre essas formas, o *Building Information Modeling* (BIM) tem se destacado como uma ferramenta que vai além da simples representação gráfica, tornando-se um sistema colaborativo que ajuda na tomada de decisões e melhora a forma como o projeto é construído desde o início (Bitaraf et al., 2024; Kermanshahi et al., 2020).

O uso de ferramentas como o Autodesk Navisworks, junto com o BIM, tornou-se uma forma comum de encontrar problemas entre os diferentes elementos do projeto antes que eles aconteçam. Estudos mostram que usar essa abordagem de forma consistente pode economizar até 16% nos custos do contrato, evitando a necessidade de refazer o trabalho (Wong et al., 2017; Chahrour et al., 2021). A evolução do BIM, combinada com os princípios da construção enxuta e métodos de informática avançados, ajuda a melhorar a forma como o trabalho é feito e como os recursos são usados (Pérez et al., 2024; Eldeep, 2022).

Apesar dos avanços, ainda existem desafios na prática, principalmente quando se trata de decidir quais problemas são mais importantes e precisam ser resolvidos primeiro. A pesquisa mostra que há lacunas na automatização da identificação de problemas, já que muitos dos conflitos encontrados por ferramentas de informática não são realmente importantes, o que acaba sobrecregando as equipes de coordenação (Hasannejad et al., 2022; Lin e Huang, 2019). O uso de algoritmos de aprendizado de máquina tem sido sugerido como uma forma de resolver esse problema, mas sua aplicação em projetos residenciais ainda é pequena (Harode et al., 2024; Hu e Castro-Lacouture, 2019).

Além disso, há diferentes opiniões sobre a importância da participação humana na análise dos problemas. Enquanto alguns estudos defendem que o julgamento técnico é essencial, outros argumentam que aumentar a automatização é fundamental para melhorar a eficiência (Motiejunas, 2015; Meem e Iordanova, 2022). Essas discussões mostram a necessidade de criar modelos que combinem a inteligência artificial com o conhecimento especializado.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo examinar como a tecnologia BIM, especialmente o uso do Navisworks, pode ser usada para compatibilizar os projetos arquitetônico, estrutural e hidrossanitário em um prédio residencial. A pesquisa busca entender os benefícios da modelagem integrada para identificar problemas, bem como discutir as limitações práticas do processo com base em uma experiência real.

REFERENCIAL TEÓRICO

Este estudo se fundamenta em três conceitos cruciais: a identificação de problemas em modelos BIM, a organização de projetos e a busca por mais eficiência na construção civil.

A identificação de conflitos é vista como um processo automático para encontrar sobreposições entre partes de diferentes áreas em um modelo digital unificado (Hartmann, 2010; Juszczak et al., 2023). Com softwares como o Navisworks, é possível prever erros que, antes, só apareceriam na obra (Bitaraf et al., 2024; Kermanshahi et al., 2020).

Já a organização de projetos é o trabalho em equipe para resolver esses problemas, visando a viabilidade e a precisão técnica da construção (Seo et al., 2012; Mayer et al., 2022). Uma boa

organização reduz o retrabalho, melhora o cronograma e aumenta a qualidade final (Hasannejad et al., 2022; Hartmann, 2010).

Estudos recentes mostram que é preciso melhorar a forma como priorizamos os problemas encontrados. Isso porque as ferramentas de identificação geram muitos alertas, a maioria sem importância, prejudicando a organização (Lin e Huang, 2019). Para resolver isso, pesquisadores usam algoritmos de aprendizado de máquina para classificar os problemas importantes, sugerir soluções e diminuir o esforço das equipes (Liu e Yi, 2024; Harode et al., 2024).

A literatura também fala sobre a importância de fatores humanos e da empresa na organização de projetos. A falta de quem decide nas reuniões, de regras claras e o uso inadequado das ferramentas atrapalham a identificação de problemas (Motiejunas, 2015; Jowett et al., 2018; Jang e Lee, 2018). Isso se encaixa em modelos teóricos que veem a integração entre tecnologia, pessoas e processos como algo essencial.

Por fim, a união entre BIM e construção enxuta é vista como um bom caminho para aumentar a eficiência e diminuir o desperdício no projeto (Pérez et al., 2024; Aziz et al., 2024; Eldeep, 2022). Ao adicionar princípios de colaboração e melhoria contínua ao BIM, aumenta-se sua capacidade de prever problemas e melhorar o resultado final do projeto. Esses conceitos são a base para a pesquisa deste artigo, que analisa criticamente o uso do BIM como ferramenta de compatibilização em projetos de casas, ajudando a diminuir problemas e otimizar recursos na construção civil.

METODOLOGIA

CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

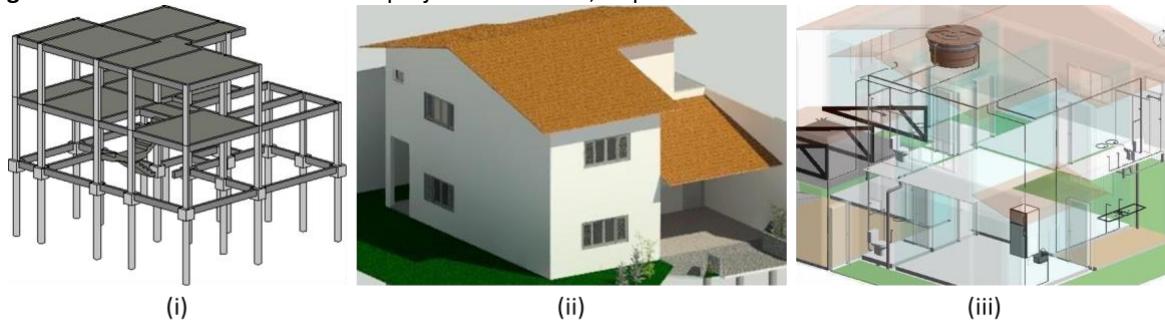
O objeto de estudo corresponde a uma edificação residencial unifamiliar de dois pavimentos, implantada em um terreno de 240 m², com área construída total de 158,69 m². O pavimento térreo (96,22 m²) é composto por sala de estar, garagem, cozinha, lavabo e área de serviço; já o pavimento superior (62,47 m²) conta com uma suíte, dois quartos e dois banheiros.

Os projetos foram recebidos em formato digital (.DWG), abrangendo as três disciplinas principais: arquitetura, estrutura em concreto armado e instalações hidrossanitárias. Esses documentos técnicos foram fornecidos em sua versão preliminar, ou seja, antes de qualquer processo de compatibilização, permitindo simular uma atuação realista de um coordenador de projetos utilizando a metodologia BIM.

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DOS PROJETOS

A modelagem 3D foi realizada no *software* Autodesk Revit, utilizando arquivos separados por disciplina, vinculados entre si por meio da funcionalidade de links. Essa estratégia foi adotada com o objetivo de garantir maior controle e organização dos modelos, reduzir o peso computacional dos arquivos e evitar modificações cruzadas involuntárias entre as disciplinas.

A sequência de modelagem seguiu a lógica construtiva e a prática usual de compatibilização: (i) modelagem estrutural, (ii) modelagem arquitetônica e (iii) modelagem hidrossanitária (Figura 1). Os níveis (pavimento térreo, superior e cobertura) foram definidos previamente e usados como referência para posicionamento dos elementos.

Figura 1. Modelo tridimensional dos projetos estrutural, arquitetônico e hidrossanitário desenvolvidos no Revit

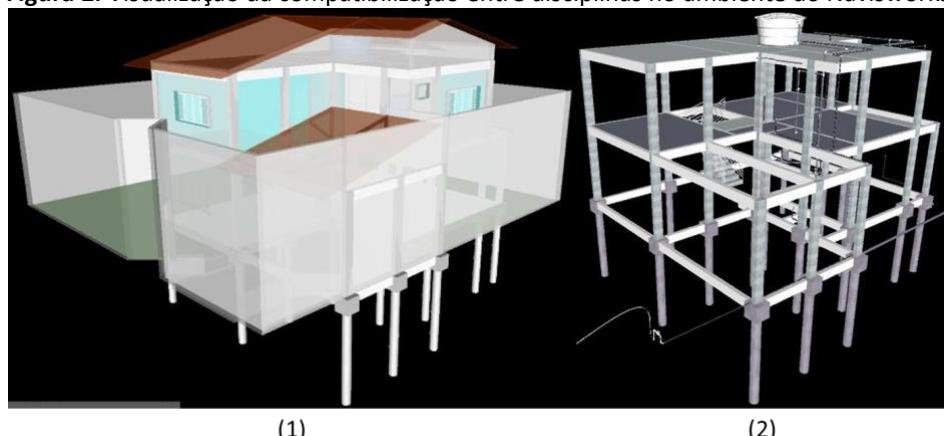
Fonte: Autores (2024).

No modelo estrutural, foram inclusas estacas, blocos, pilares, vigas, lajes e escada, respeitando as especificações originais. A modelagem arquitetônica abrangeu paredes, pisos, esquadrias, revestimentos, cobertura e elementos externos, utilizando famílias nativas e adaptadas. Já o modelo hidrossanitário foi estruturado a partir de um *template* técnico com bibliotecas pré-configuradas, contemplando tubulações de água fria, esgoto, reservatório superior, caixas de passagem e fossa.

INTEROPERABILIDADE E PROCESSO DE COMPATIBILIZAÇÃO

Concluída a modelagem das disciplinas, os arquivos foram exportados em formato .NWC e inseridos no Autodesk Navisworks, onde foi configurado o modelo federado da edificação. A compatibilização dos projetos foi conduzida por meio da ferramenta Clash Detective, utilizando análise do tipo “*Hard Clash*”, com tolerância de detecção mínima de 0 mm.

Foram criados dois testes principais de detecção de interferências (Figura 2): (1) Arquitetônico × Estrutural e (2) Estrutural × Hidrossanitário, garantindo maior clareza na identificação dos conflitos e facilitando a análise individual de cada disciplina envolvida. O processo foi apoiado pela criação de conjuntos de elementos (sets) no Navisworks, agrupando objetos por categoria (pilares, vigas, paredes, tubulações, etc.), otimizando o rastreio das interferências.

Figura 2. Visualização da compatibilização entre disciplinas no ambiente do Navisworks

Fonte: Autores (2024).

CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE DAS INTERFERÊNCIAS

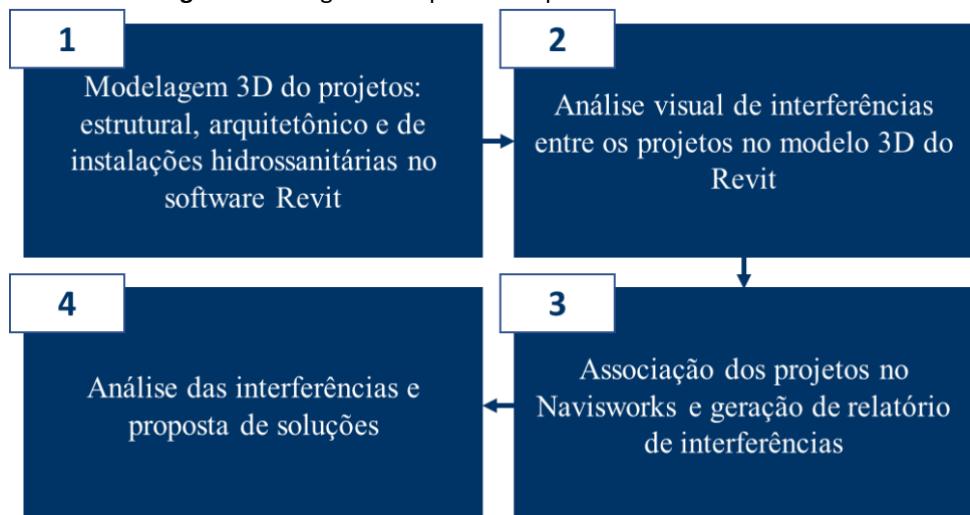
Os relatórios gerados pelo *software* foram analisados qualitativamente, com foco na localização, gravidade e implicações construtivas das interferências detectadas. Cada conflito foi verificado visualmente e classificado com base em critérios técnicos de criticidade, levando em conta se a interferência comprometeria a execução, a funcionalidade ou a segurança da

edificação. As inconsistências foram categorizadas como evitáveis por revisão de projeto ou como típicas de deficiências de coordenação. A partir disso, foram propostas medidas corretivas viáveis, respeitando as diretrizes de projeto e a lógica de execução em campo.

SÍNTSE METODOLÓGICA

A Figura 3 apresenta um fluxograma com a síntese das etapas metodológicas executadas, desde a obtenção dos projetos 2D até a análise detalhada das interferências detectadas no ambiente BIM.

Figura 3. Fluxograma do processo aplicado no estudo de caso



Fonte: Autores (2024).

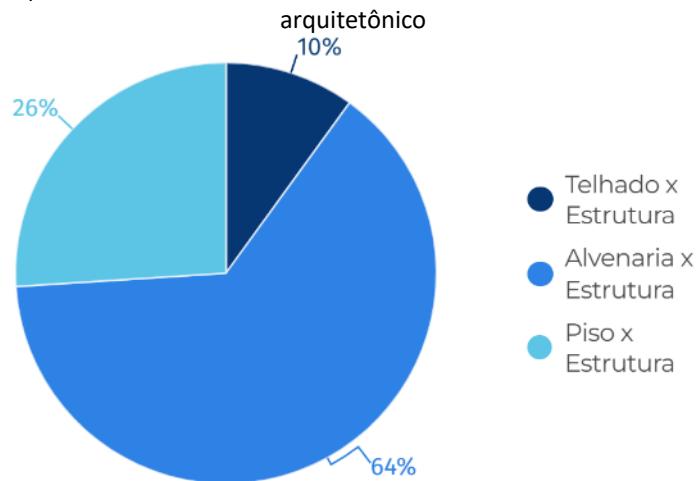
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta etapa serão apresentados com base nos relatórios de interferências gerados pelo *software* Navisworks. Adicionalmente, serão exibidos gráficos e tabelas contendo os dados extraídos desses relatórios, com o propósito de facilitar a visualização e a interpretação dos mesmos, indicando-se as quantidades e as localizações das referidas interferências entre os projetos. Para fins deste estudo, adotou-se o termo “interferência” para designar colisões entre elementos de diferentes disciplinas.

INTERFERÊNCIAS ENTRE PROJETO ARQUITETÔNICO E ESTRUTURAL

No relatório de análise de interferências entre os projetos arquitetônico e estrutural, elaborado por meio do *software* Navisworks, constatou-se a ocorrência de 31 (trinta e uma) incompatibilidades físicas entre os elementos constituintes dos referidos projetos.

Dentre as mencionadas incompatibilidades, identificaram-se elementos estruturais em conflito com a cobertura, a alvenaria e o piso. No que concerne aos elementos estruturais do projeto, a maior incidência de conflitos foi verificada em relação à alvenaria, correspondendo a 64% do total, seguida pela incompatibilidade com o piso, com 26%, e, por fim, com a cobertura, representando 10% (Figura 4).

Figura 4. Distribuição percentual dos conflitos identificados entre a estrutura e os elementos do projeto

Fonte: Autores (2024).

Observou-se que a maioria das divergências se concentrava na interface entre a alvenaria e a estrutura. Especificamente, foram identificadas duas interferências entre a alvenaria e o pilar, quatro entre a alvenaria e a escada, sete entre a alvenaria e a viga, e sete entre a alvenaria e a laje (Tabela 1).

Tabela 1. Incompatibilidades detectadas entre o projeto arquitetônico e o projeto estrutural

Descrição de incompatibilidades	Ocorrência	%
Viga X telhado	1	3,23
Pilar X telhado	2	6,45
Pilar X alvenaria	2	6,45
Escada X alvenaria	4	12,90
Viga X alvenaria	7	22,58
Laje X alvenaria	7	22,58
Bloco X piso	8	25,81
Total	31	100

Fonte: Autores (2024).

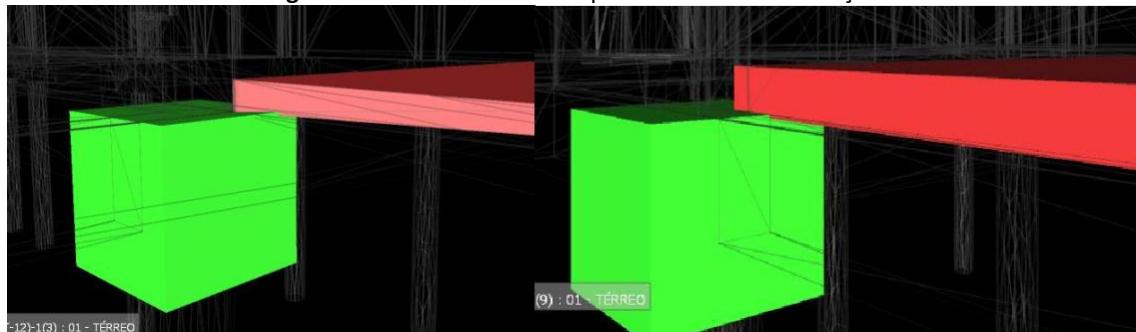
As incompatibilidades observadas entre o telhado e a estrutura, que representaram 10% das divergências entre os projetos arquitetônico e estrutural, não foram classificadas como erros críticos, sendo passíveis de desconsideração, visto que não implicariam em problemas significativos na execução ou elevação dos custos da obra. Tais divergências (Figura 5) e a simples adequação da modelagem do telhado, como a alteração do contorno da área ou da altura, solucionou os conflitos existentes entre os referidos elementos.

Figura 5. Interferências entre telhado e estrutura

Fonte: Autores (2024).

As discrepâncias observadas entre o piso e a estrutura, representando 26% das incompatibilidades entre os projetos arquitetônico e estrutural (conforme demonstrado no Gráfico 1 dos resultados), foram integralmente identificadas nas áreas de interseção entre os blocos de fundação e o piso. Similarmente às incompatibilidades concernentes ao telhado, estas não foram classificadas como erros de grande magnitude. Tais discrepâncias (Figura 6), foram resolvidas mediante o ajuste da espessura do piso. Essa alteração poderá, inclusive, contribuir para um futuro levantamento de quantitativos mais preciso, contudo, em virtude do volume diminuto de piso em contato com os blocos, não resultará em uma modificação significativa dos valores finais.

Figura 6. Interferências entre pisos e blocos de fundação

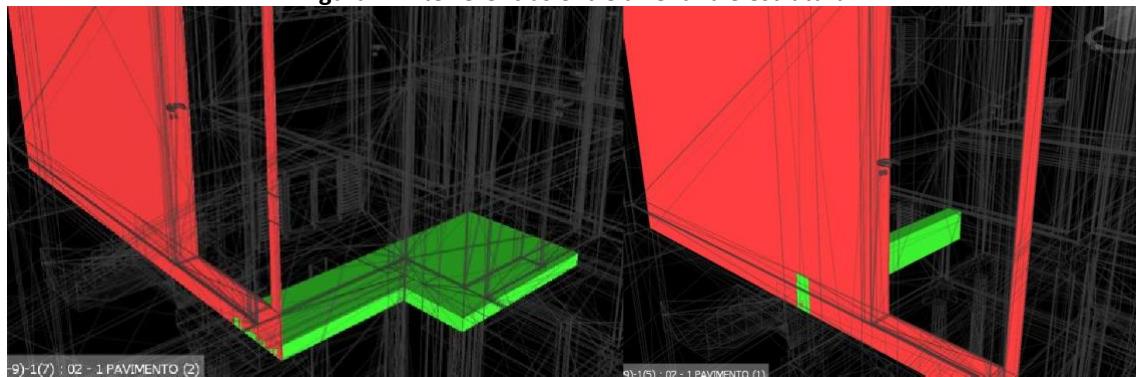


Fonte: Autores (2024).

A maior parte das divergências entre os projetos arquitetônico e estrutural foi observada na interface entre a alvenaria e a estrutura, conforme demonstrado no gráfico 1 dos resultados. Estas divergências foram causadas pela metodologia de modelagem da alvenaria no *software* Revit, que replica a execução real da obra.

Em todos os casos analisados, as ocorrências de interferências foram atribuídas à imprecisão na modelagem das espessuras das camadas de revestimento, tais como pintura ou cerâmica. Tal imprecisão resultou em colisões com os elementos estruturais (Figura 7). As referidas interferências foram classificadas como erros de modelagem, e não como falhas na compatibilização dos projetos.

Figura 7. Interferências entre alvenaria e estrutura



Fonte: Autores (2024).

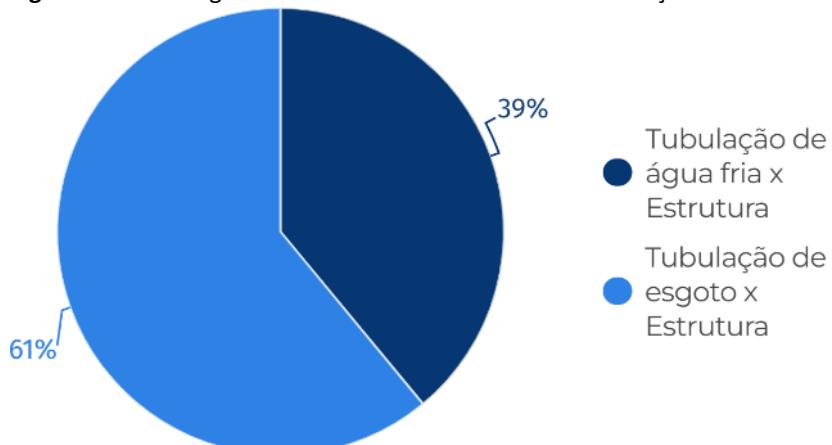
Contudo, em contraste com as adaptações realizadas nos pisos, as correções nas alturas dos revestimentos de alvenaria resultaram em uma diminuição mais substancial dos volumes e áreas desses componentes. Em outras palavras, para uma futura estimativa de quantitativos, tal ajuste seria mais preciso e relevante, considerando o maior número de modificações efetuadas no modelo.

INTERFERÊNCIAS ENTRE PROJETOS HIDROSSANITÁRIO E ESTRUTURAL

No relatório de análise de conflitos entre os projetos de instalações hidrossanitárias e estrutural, produzido através do *software* Navisworks, foram identificadas 41 (quarenta e uma) ocorrências de interferência física entre os elementos dos referidos projetos.

Dentre as interferências identificadas, a maioria, correspondendo a 61% do total, foi constatada entre a estrutura e a tubulação de esgoto. O restante, representando 39% das ocorrências, foi identificado entre a estrutura e a tubulação de água fria do projeto (Figura 8), que contém um gráfico demonstrativo.

Figura 8. Porcentagem de conflitos detectados entre tubulações e estrutura



Fonte: Autores (2024).

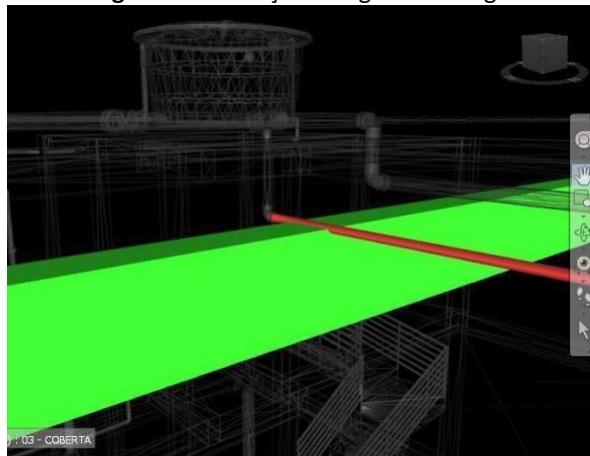
Identificaram-se três interferências entre as tubulações de água fria e a estrutura em conflito com a laje, cinco com as vigas e oito com os pilares. No que concerne às tubulações de esgoto, foram constatadas sete em conflito com as vigas, oito com os blocos de fundação e dez com as lajes (Tabela 2).

Tabela 2. Incompatibilidades detectadas entre projeto de instalações hidrossanitárias e projeto estrutural

Descrição de incompatibilidades	Ocorrência	%
Tubulação de água fria X laje	3	7,32
Tubulação de água fria X viga	5	12,20
Tubulação de esgoto X viga	7	17,07
Tubulação de esgoto X bloco	8	19,51
Tubulação de água fria X pilar	8	19,51
Tubulação de esgoto X laje	10	24,39
Total	41	100

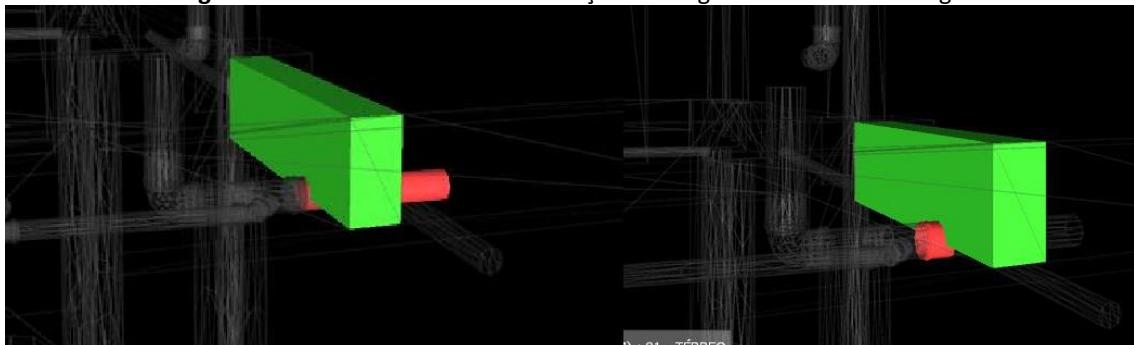
Fonte: Autores (2024).

As diversas interferências identificadas foram submetidas a análises individuais com o objetivo de mitigá-las no projeto. Algumas puderam ser resolvidas mediante alterações de menor magnitude, como a questão da tubulação de água fria em confronto com a viga ilustrada na Figura 9. Tal problema foi solucionado com um ligeiro ajuste no deslocamento da tubulação, sem que isso comprometesse o sistema. Contudo, outras interferências foram consideradas de maior complexidade, a exemplo das tubulações que atravessavam os pilares, uma situação que não está em conformidade com as normas técnicas e que demandaria a reconfiguração do trajeto.

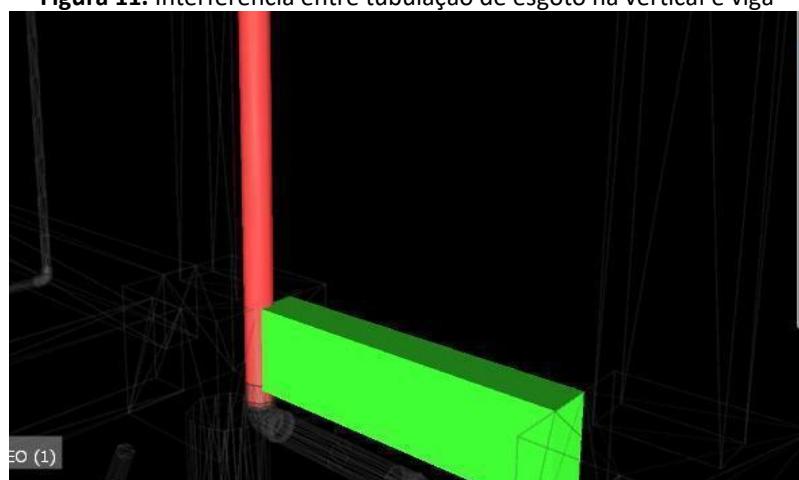
Figura 9. Tubulação de água fria X viga

Fonte: Autores (2024).

Na análise dos conflitos entre a tubulação de esgoto e a estrutura, que representaram 61% das interferências identificadas nos projetos de instalações hidrossanitárias e estrutura (conforme demonstrado no gráfico 2 dos resultados), foram constatados 7 (sete) conflitos com as vigas. Especificamente, os conflitos relacionados às tubulações que atravessavam as vigas horizontalmente, ilustrados na Figura 10, foram resolvidos mediante o rebaixamento da tubulação, evitando-se, assim, a necessidade de perfurações na estrutura. Adicionalmente, para os conflitos envolvendo as tubulações verticais, como o exemplificado na Figura 11, propõe-se a criação de *shafts* para a passagem dessas tubulações.

Figura 10. Interferências entre tubulações de esgoto na horizontal e viga

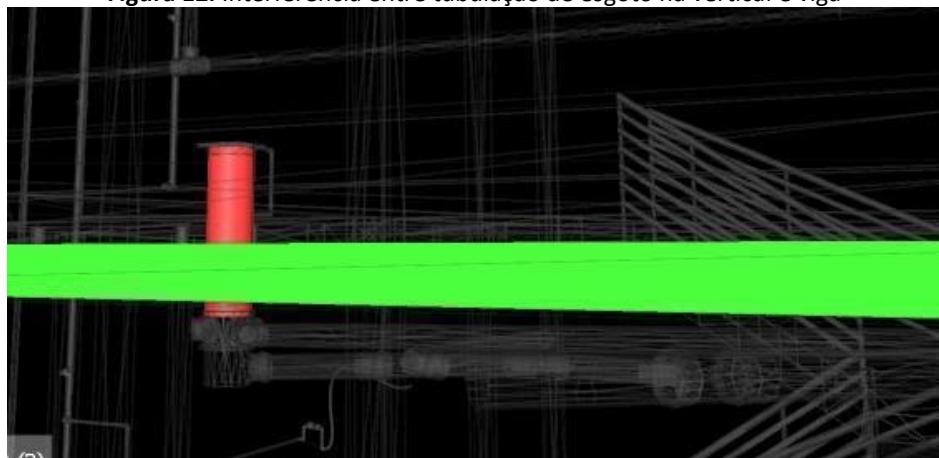
Fonte: Autores (2024).

Figura 11. Interferência entre tubulação de esgoto na vertical e viga

Fonte: Autores (2024).

Os conflitos mais frequentes entre as tubulações de esgoto e a estrutura foram aqueles com a laje, totalizando dez ocorrências, conforme demonstrado na tabela 2 dos resultados. Tais interferências ocorreram devido ao posicionamento da tubulação de esgoto dos banheiros do pavimento superior sob a laje. Entretanto, os furos na laje, decorrentes da tubulação vertical proveniente de vasos sanitários e ralos que se chocaram com a laje (Figura 12) devem ser previstos e detalhados nos projetos.

Figura 12. Interferência entre tubulação de esgoto na vertical e viga

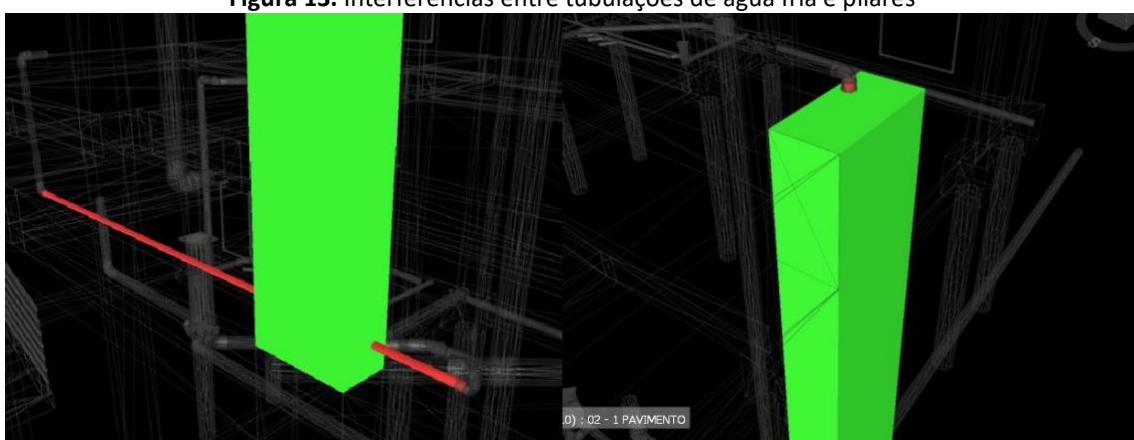


Fonte: Autores (2024).

Ressalta-se que as decisões relativas a furos na estrutura devem ser criteriosamente analisadas e debatidas com o profissional responsável pelo desenvolvimento do projeto estrutural, visando atender aos critérios estabelecidos pela NBR 6118:2023, norma referente ao projeto de estruturas de concreto.

Conflitos entre a tubulação de água fria e a estrutura representaram 39% das interferências entre os projetos de instalações hidrossanitárias e estrutura. A maior quantidade identificada foi entre as tubulações de água fria e os pilares, com oito ocorrências (Tabela 2). Constatou-se que tanto tubulações horizontais quanto verticais colidiram com os pilares (Figura 13).

Figura 13. Interferências entre tubulações de água fria e pilares



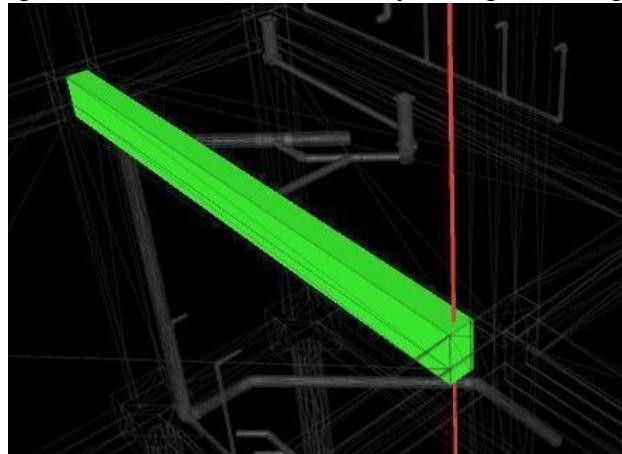
Fonte: Autores (2024).

Este tipo de interferência não está previsto em normas técnicas e a solução envolveria a alteração do traçado das tubulações horizontais, ou seja, a adição de mais conexões para desviar dos pilares, o que, provavelmente, resultaria na diminuição da pressão da água na tubulação e no aumento do consumo de materiais. Para a tubulação vertical, responsável pela

alimentação de água no projeto, sugere-se o deslocamento para que seja executada na alvenaria.

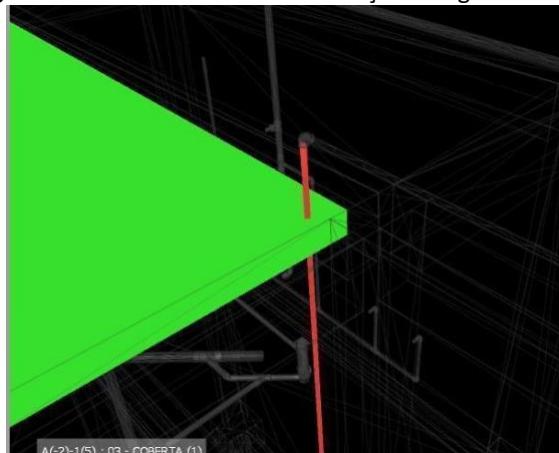
Nos conflitos entre a tubulação de água fria e a estrutura, foram detectadas diversas interferências com vigas (5 ocorrências) e lajes (3 ocorrências), conforme demonstrado na tabela 2 dos resultados. No caso das interferências com as vigas, ilustradas na Figura 14, recomenda-se a descida dessas tubulações por *shafts*, alvenarias ou bonecas, sendo imprescindível o diálogo entre os projetistas envolvidos para determinar a solução mais adequada. A mesma solução se aplica às interferências entre as tubulações de água fria e a laje (Figura 15).

Figura 14. Interferência entre tubulação de água fria e viga



Fonte: Autores (2024).

Figura 15. Interferência entre tubulação de água fria e laje



Fonte: Autores (2024).

Em linhas gerais, as ocorrências de incompatibilidade entre os projetos estrutural e de instalações hidrossanitárias, além de serem numerosas, foram classificadas como de alta relevância neste estudo, visto que demandaram alterações substanciais nos projetos.

CONCLUSÃO

Os achados deste estudo sugerem que adotar a tecnologia BIM para harmonizar projetos foi um sucesso na detecção e solução de problemas nas fases iniciais, antes do início da construção. A análise dos modelos 3D gerados no Revit, auxiliada pela detecção automática de conflitos no Navisworks, revelou setenta e duas interferências entre as diferentes especialidades do projeto. Incluindo trinta e uma entre os projetos arquitetônico e estrutural, e quarenta e uma entre as instalações hidráulicas e a estrutura.

Observou-se que as interferências arquitetônicas e estruturais, embora frequentes, eram, na maior parte das vezes, mais simples de resolver, resolvidos principalmente, com ajustes nos modelos de revestimentos e elementos construtivos. Além disso, os conflitos envolvendo instalações hidrossanitárias e estrutura se mostraram bem mais difíceis. Principalmente aqueles relativos aos canos de esgoto sessenta e um por cento dos casos exigiram mudanças significativas nos projetos originais e uma colaboração próxima entre os profissionais envolvidos.

A vivência prática deste estudo de caso revelou que a tecnologia BIM apresenta uma visão integrada dos projetos, permitindo identificar incompatibilidades e também avaliar com maior precisão o impacto na execução da obra. Foi notado, que muitos dos conflitos achados dificilmente seriam percebidos no sistema tradicional de projetos bidimensionais, sublinhando a importância da modelagem tridimensional como ferramenta para evitar retrabalhos.

Como limitação do estudo, reconhece-se que os resultados são da análise de um único projeto residencial de média complexidade, o qual pode influenciar a generalização das conclusões para outros contextos projetuais. Todavia, as descobertas alinham-se a estudos anteriores que destacam o potencial do BIM para diminuir custos e prazos na construção civil.

Para futuras investigações, aconselha-se o estudo de métodos automatizados para classificar interferências pela gravidade, bem como pesquisas que unam a etapa de compatibilização com o planejamento orçamentário. Além disso, seria interessante investigar a aplicação destes métodos em projetos de maior escala e complexidade, onde as vantagens da compatibilização digital possivelmente sejam ainda mais claras.

Concluindo então, este estudo contribui com a literatura ao mostrar, por meio de um estudo de caso minucioso, como a implantação consistente do BIM na fase de compatibilização pode gerar ganhos notáveis na qualidade e na produtividade em engenharia civil. Os achados reforçam a necessidade de uma maior comunicação entre as várias áreas do projeto, desde o começo da obra, evidenciando a crucial importância da colaboração de vários profissionais no processo de construção.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2023). NBR 6118:2023 *Projeto de estruturas de concreto: procedimento*. ABNT.
- Aziz, R. M., Nasreldin, T. I., & Hashem, O. M. (2024). The role of BIM as a lean tool in design phase. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s44147-023-00340-3>
- Bitaraf, I., Salimpour, A., Elmi, P., & Shirzadi Javid, A. A. (2024). Improved building information modeling based method for prioritizing clash detection in the building construction design phase. *Buildings*, 14(11), 3611. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>
- Chahroud, R., Hafeez, M. A., Ahmad, A. M., Sulieman, H. I., Dawood, H., Rodriguez-Trejo, S., Kassem, M., Naji, K. K., & Dawood, N. (2021). Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection and resolution. *Construction Management and Economics*, 39(1), 55–72. <https://doi.org/10.1080/01446193.2020.1802768>
- Eldeep, A. (2022). Benefits of integration between lean and BIM in the design and construction phase; Lessons learned. *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, 3(1), 21–28. <https://doi.org/10.21608/svusrc.2022.120081.1029>
- Harode, A., Thabet, W., & Gao, X. (2024). Developing a machine-learning model to predict clash resolution options. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 38(2), 04024005. <https://doi.org/10.1061/JCCEE5.CPENG-5548>
- Harode, A., Thabet, W., & Leite, F. (2024). Formulation of feature and label space using modified delphi in support of developing a machine-learning algorithm to automate clash resolution. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(3), 04023173. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14167>
- Hartmann, T. (2010). Detecting design conflicts using building information models: A comparative lab experiment. *Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry* (pp. 16–18). Cairo, Egypt: International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB). Recuperado de <https://itc.scix.net/pdfs/w78-2010-57.pdf>

- Hasannejad, A., Majrouhi Sardroud, J., Shirzadi Javid, A. A., Purrostam, T., & Ramesht, M. H. (2022). An improvement in clash detection process by prioritizing relevance clashes using fuzzy-AHP methods. *Building Services Engineering Research and Technology*, 43(4), 485–506. <https://doi.org/10.1177/01436244221080023>
- Hasannejad, A., Sardrud, J. M., & Shirzadi Javid, A. A. (2023). BIM-based clash detection improvement automatically. *International Journal of Construction Management*, 23(14), 2431–2437. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2063014>
- Hu, Y., & Castro-Lacouture, D. (2019). Clash relevance prediction based on machine learning. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 33(2), 04018060. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000810](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000810)
- Jang, S., & Lee, G. (2018). Impact of organizational factors on delays in BIM-based coordination from a decision-making view: A case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(1), 19–30. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.296>
- Jowett, B., Al Hattab, M., & Kassem, M. (2018). Demystifying collaboration in BIM-based projects under design-build procurement: Clash detection as a use value. In B. Kumar (Ed.), *Contemporary strategies and approaches in 3-D information modeling* (pp. 158–190). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5625-1.ch007>
- Juszczuk, M., Wieczorek, D., Pacyno, H., & Dzienniak, A. (2023). Clash detection based on IFC/BIM models – Case studies process parameterization. *Proceedings of the 6th IPMA SENET Project Management Conference “Digital Transformation and Sustainable Development in Project Management”*, 110–126. <https://doi.org/10.5592/CO/SENET.2022.8>
- Kermanshahi, E. K., Tahir, M. B. M., Shukor Lim, N. H. A., Balasbeneh, A. T., & Roshanghalb, S. (2020). Implementation of building information modeling for construction clash detection process in the design stage: A case study of malaysian police headquarter building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 476(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012009>
- Lin, W. Y., & Huang, Y.-H. (2019). Filtering of irrelevant clashes detected by BIM software using a hybrid method of rule-based reasoning and supervised machine learning. *Applied Sciences*, 9(24), 5324. <https://doi.org/10.3390/app9245324>
- Liu, X., Zhao, J., Yu, Y., & Ji, Y. (2024). BIM-based multi-objective optimization of clash resolution: A NSGA-II approach. *Journal of Building Engineering*, 89, 109228. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109228>
- Mayer, P., Funtík, T., & Honti, R. (2022). MEP coordination and clash management in BIM and common data environment. *Czech Journal of Civil Engineering*, 8(2), 54–63. <https://doi.org/10.51704/cjce.2022.vol8.iss2.pp54-63>
- Meem, T. M., & Iordanova, I. (2023). Overcoming obstacles in BIM-based multidisciplinary coordination: A literature overview. In R. Gupta, M. Sun, S. Brzev, M. S. Alam, K. T. W. Ng, J. Li, A. El Damatty, & C. Lim (Org.), *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2022* (V. 363, p. 637–654). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34593-7_39
- Motiejunas, V. (2016). *Improving the MEP coordination using BIM technologies: A case study based on observations and interviews* (Master's thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden). Chalmers University of Technology. Recuperado de <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244829/244829.pdf>
- Pérez, Y., Ávila, J., & Sánchez, O. (2024). Influence of BIM and Lean on mitigating delay factors in building projects. *Results in Engineering*, 22, 102236. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102236>
- Seo, Jung-Ho, Lee, Baek-Rae, Kim, JuHyong, & Kim, Jae-Jun. (2012). Collaborative process to facilitate BIM-based clash detection tasks for enhancing constructability. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 12(3), 299–314. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2012.12.3.299>
- Wong, J. K. W., Zhou, J. X., & Chan, A. P. C. (2018). Exploring the linkages between the adoption of BIM and design error reduction. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 13(01), 108–120. <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-108-120>