

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS A. C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

THALLITA BARROS DA SILVA

**ESTUDO DA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS PELO MÉTODO
TRADICIONAL E COM USO DE BIM**

Maceió/AL

2023

THALLITA BARROS DA SILVA

**ESTUDO DA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS PELO MÉTODO
TRADICIONAL E COM USO DE BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana de Oliveira Santos Weber.

Coorientador: Arq. Esp. José Nilson de Oliveira Martins.

Maceió/AL

2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S586e Silva, Thallita Barros da.
Estudo da compatibilização de projetos pelo método tradicional e com uso de BIM / Thallita Barros da Silva. – 2023.
92 f. : il. color.

Orientador: Adriana de Oliveira Santos Weber.
Coorientador: José Nilson de Oliveira Martins.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 76-82.
Apêndices: f. 83-92.

1. Compatibilização de projetos. 2. *Building Information Modeling* – BIM. 3. Construção civil. I. Título.

CDU: 624

Folha de Aprovação

THALLITA BARROS DA SILVA

ESTUDO DA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS PELO MÉTODO TRADICIONAL E COM USO DA METODOLOGIA BIM

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
banca examinadora do curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal de Alagoas e
aprovada em 09 de outubro de 2023.

Documento assinado digitalmente
 ADRIANA DE OLIVEIRA SANTOS WEBER
Data: 16/10/2023 20:50:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Orientadora - Prof. Dr.^a Adriana de Oliveira Santos Weber, Universidade Federal de Alagoas)

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ISMAEL WEBER
Data: 16/10/2023 10:24:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno – Prof. Me. Ismael Weber, Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 LUIZ ADALBERTO PHILIPPSEN JUNIOR
Data: 16/10/2023 16:07:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador Interno - Prof. Dr. Luiz Philippsen Jr., Universidade Federal de Alagoas)

Dedico este trabalho, que representa a vitória sobre uma trajetória importante e repleta de desafios, à Deus e à minha família, que foram o meu alicerce em todo o tempo.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão a Deus, por me conceder saúde e forças para sonhar e realizar. À minha família, em especial minha mãe Josineide e avó Marina, que não mediram esforços em me ajudar no que fosse preciso. Ao meu esposo Edson, que me acompanha e apoia desde o início do curso e sua família, na pessoa da Edivania que certamente me dedicou muitas orações. Ao meu pai que me ajuda em tudo o que solicito. Aos queridos amigos que fiz durante a graduação, em especial às meninas: Beatriz, Maylla e Valéria. Ao David que pacientemente me ajudou muito no início com as matérias de cálculo. Ao João Edson pelas risadas e caronas. À Anne e ao Sóstenis, que me fizeram lembrar muitas vezes do amor de Deus; à Kyara, Daniel, Geovani e colegas de turma por muitas alegrias compartilhadas.

Agradeço à Empresa Junior de Arquitetura e Engenharia Civil da UFAL, pelo amplo crescimento proporcionado nos âmbitos de pessoas, projetos e negócios. A EJEC foi um grande passo para enxergar o mundo dos projetos como uma solução desenvolvida em vez de simplesmente um conjunto de desenhos. Enriquecedor ter sido membro das gestões Reflexo (final de 2020), Coragem (2021) e Garra (2022).

À professora Adriana, pelo rico conhecimento transmitido e orientações concedidas nesta importante fase de conclusão de curso e início da jornada profissional. Ao meu coorientador, Nilson, pela mansidão enquanto líder de estágio e contribuições ao meu desenvolvimento profissional e pessoal. À minha banca: Ismael, Luiz e Roberto, por toda disposição, colaboração e conselhos profissionais.

Ao arquiteto Rafael Malafaia, por me apresentar o mundo da coordenação de projetos. Ao engenheiro Julius Caesar por me impulsionar a desempenhar as funções do engenheiro civil no dia a dia de obra, obrigada por confiar em mim. À arquiteta Luiza Vasconcelos pelas oportunidades. Aos mestres Lanjackson e Mariano pelos ensinamentos e cuidados no canteiro de obras. Ao mestre Brando que me mostrou que todo lugar é apto para a obra de Deus ser realizada, inclusive no canteiro de obras (privilégio um estágio que possuía uma igreja dentro do canteiro, os horários de almoço eram duplamente saborosos porque também tínhamos o pão do céu). Nisto, encerro este agradecimento da mesma forma que iniciei, tributando toda honra e glória à Deus, dono dos meus dias.

RESUMO

Todo empreendimento da construção civil parte da etapa de projetos, dos quais se obtém informações cruciais para planejar e orçar as obras. Incompatibilidades entre os projetos das disciplinas envolvidas são recorrentes e interferem diretamente na execução da obra se não solucionadas previamente, no entanto, compatibilizar demanda tempo e conhecimento técnico de diversas disciplinas. Com os avanços tecnológicos, nota-se o potencial de *Building Information Modeling* – ou modelagem da informação da construção (BIM) para tornar a compatibilização mais ágil e rápida, além de, principalmente, amortecer os conflitos entre projetos através da interoperabilidade. Diante desse contexto, este trabalho objetiva apresentar o processo de compatibilização de projetos pelo método tradicional e utilizando BIM. Como objetivos específicos, buscou-se as principais incompatibilidades e dificuldades de implementar o BIM para compatibilização. Para tanto, foi realizado um estudo de caso em que a autora participou das compatibilizações de duas obras adjacentes com execução simultânea, a primeira compatibilizada pelo método tradicional com sobreposição de desenhos CAD 2D e a segunda com uso de BIM. Para esta última, um modelo federado criado para três disciplinas no Revit 2023 foi exportado para o Navisworks Manage 2023, o *software* de interface BIM escolhido após realizar pesquisas comparativas entre os três mais difundidos nacionalmente para compatibilização. Para fundamentação teórica, fez-se um mapeamento sistemático simplificado da literatura. Dos principais resultados, compatibilizar pelo método tradicional em contraste a aplicar BIM para a mesma atividade atestam o uso de BIM como superior ao método tradicional, destacando-se a economia de pelo menos 50% do tempo empregado e um número de conflitos detectados 41 vezes maior. Constatou-se também o nível de maturidade BIM da empresa, justificado por um problema cultural a ser superado, visto que apenas 33% dos projetos contratados para as obras foram originalmente desenvolvidos em BIM e em detrimento da indisponibilidade de mão de obra capacitada para contratação.

Palavras-chave: compatibilização de projetos; detecção de conflitos; BIM; interoperabilidade; construção civil.

ABSTRACT

All civil construction endeavors begin at the design stage, from which crucial information is obtained to plan and budget the works. Incompatibilities between the projects of the disciplines involved are recurrent and directly interfere with the execution of the work if they are not resolved previously, however, making them compatible demands time and technical knowledge from different disciplines. With technological advances, the potential of Building Information Modeling – or construction information modeling (BIM) – to make compatibility more agile and rapid can be seen, in addition to, mainly, mitigating conflicts between projects through interoperability. Given this context, this work aims to present the process of project compatibility using the traditional method and using BIM. As specific objectives, look for the main incompatibilities and difficulties in implementing BIM for compatibility. To this end, a case study was carried out in which an author participated in the compatibility of two adjacent works with simultaneous execution, the first made compatible using the traditional method with overlapping 2D CAD drawings and the second using BIM. For the latter, a federated model created for three disciplines in Revit 2023 was exported to Navisworks Manage 2023, the BIM interface software chosen after carrying out comparative research between the three most widespread nationally for compatibility. For theoretical foundation, a simplified systematic mapping of the literature was carried out. Of the main results, making compatible using the traditional method in contrast to applying BIM for the same activity attest to the use of BIM as superior to the traditional method, highlighting the savings of at least 50% of the time spent and a number of conflicts detected 41 times higher. The level of updating of the company's BIM was also noted, justified by a cultural problem to be overcome, as only 33% of the projects contracted for the works were originally developed in BIM and to the detriment of the unavailability of skilled labor for hiring.

Keywords: project compatibility; clash detection; BIM; interoperability; construction industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Usos do BIM para projetos	19
Figura 2	<i>BIM dimensions</i> (dimensões BIM)	20
Figura 3	<i>BIM Maturity Levels (iBIM)</i>	21
Figura 4	Etapas do processo de Compatibilização BIM	24
Figura 5	Perspectiva geral da Obra A	27
Figura 6	Registro da obra em execução	27
Figura 7	Perspectiva da Obra B	28
Figura 8	Registro da execução do bloco B	28
Figura 9	Fluxograma das etapas do trabalho	30
Figura 10	Gráfico da contagem de registro de publicações com “BIM” ou “ <i>Building Information Modeling</i> ” em seu título nos últimos 20 anos.....	33
Figura 11	Fluxograma do processo de compatibilização da Obra A	36
Figura 12	Imagem da tela do <i>Navisworks Manage</i> ilustrando a compatibilização por meio da detecção de <i>clashes</i>	39
Figura 13	Imagem da tela do Solibri	40
Figura 14	Imagem da tela de estabelecimento de parâmetros para criação de um conjunto de confrontos no <i>Trimble Connect for Browser 3D Viewer</i>	41
Figura 15	Tela de visualização dos resultados de um conjunto de confrontos no <i>Trimble Connect for Browser 3D Viewer</i>	42
Figura 16	Comparativo entre recursos - <i>Navisworks Manage</i> x <i>Trimble Connect</i>	42
Figura 17	Projeto estrutural da Obra B	43
Figura 18	Projeto Arquitetônico da Obra B	44
Figura 19	Projeto hidrossanitário da Obra B	44
Figura 20	Conflito entre instalações sanitárias e arquitetura	49
Figura 21	Caixas sifonadas e prumadas de água pluvial (AP-2V e AP-1V) para drenagem das varandas, constituindo incompatibilidade com arquitetura pela ausência de forro	50
Figura 22	Solução adotada na Obra A para o conflito da Figura 21	51
Figura 23	Pauta de reunião de coordenação - arquitetura x estruturas	52
Figura 24	Incompatibilidade entre estrutura e arquitetura na fachada	52
Figura 25	– Incompatibilidade entre instalações hidrossanitárias e estrutura	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 26	Resultado geral dos testes de compatibilização	55
Figura 27	Resultado considerando forro da arquitetura no confronto com estrutura: falsos-positivos	57
Figura 28	– Clashes entre elemento de guarda-corpo e viga: falso-positivo	57
Figura 29	Clashes proveniente de erro de modelagem (ARQ X HDS)	58
Figura 30	Clashes entre os projetos estrutural e hidrossanitário	59
Figura 31	Conflitos entre os projetos estrutural e hidrossanitário	59
Figura 32	Conflitos entre tubulações e vigas	60
Figura 33	Conflito entre colunas de água fria e vigas (HDS X STR)	62
Figura 34	Conflito entre pilares e esquadrias (STR X ARQ)	62
Figura 35	Pilares executados	63
Figura 36	Distribuição dos resultados gerais por disciplinas confrontadas	64
Figura 37	Distribuição dos resultados gerais por grau de impacto	64
Figura 38	Fluxograma de fases e atividades de um mapeamento sistemático completo	75
Figura 39	Resultado da primeira busca geral	78
Figura 40	Resultados das novas buscas	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Faixa de precisão esperada do custo estimado de uma obra em relação ao seu custo final.....	12
Quadro 2	Categorização dos conflitos	15
Quadro 3	Características da representação em 2D que podem gerar problemas de análise no processo de projeto	16
Quadro 4	Principais barreiras para o BIM.....	23
Quadro 5	Projetos das Obras A e B, <i>softwares</i> e formatos respectivos.....	30
Quadro 6	Resumo das características das ferramentas mais utilizadas para compatibilizações em junho de 2023.....	38
Quadro 7	Elementos verificados nas compatibilizações	44
Quadro 8	Classificações de conflitos e respectivas descrições	47
Quadro 9	Objetivo do mapeamento no modelo QGM	76
Quadro 10	Seleção de descritores e palavras-chave para construção de <i>strings</i> de busca	77
Quadro 11	Construção de <i>strings</i> de busca	77
Quadro 12	Artigos extraídos da <i>Web Of Science</i>	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Publicações contendo BIM em seu título nos últimos 20 anos	32
Tabela 02	Resultados da compatibilização tradicional na Obra A	48
Tabela 03	Resultados da compatibilização com BIM na Obra B	56
Tabela 04	Resumo geral dos resultados por classes	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAIN	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias
ASBEA	Associação Brasileira do Escritórios de Arquitetura
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CTEC	Centro de Tecnologia
EBBIM	Escola Brasileira de BIM
GTBIM	Grupo de Trabalho BIM da ASBEA
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i>
PPCI	Projeto de Prevenção e Proteção Contra Incêndio
SINDUSCON	Sindicato da Indústria da Construção Civil
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	14
1.2	QUESTÕES DA PESQUISA	16
1.3	OBJETIVOS DA PESQUISA	16
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	PROJETO.....	18
2.2	COMPATIBILIZAÇÃO	21
2.3	METODOLOGIA BIM	25
2.3.1	DIMENSÕES BIM.....	27
2.3.2	MATURIDADE BIM E DIFICULDADES DE IMPLEMENTAÇÃO	28
2.3.3	BIM COMO FACILITADOR DA COMPATIBILIZAÇÃO E A INTEROPERABILIDADE	31
3	MÉTODO DE PESQUISA	34
3.1	ESTRATÉGIA DA PESQUISA.....	34
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO CASO	34
3.2.1	PROJETOS DAS UNIDADES DE CASO	37
3.3	DELINEAMENTO DA PESQUISA	38
3.3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	39
3.3.1.1	ESTADO DA ARTE EM COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS COM USO DA METODOLOGIA BIM	40
3.3.2	LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES.....	42
3.3.3	COMPATIBILIZAÇÃO TRADICIONAL	44
3.3.4	COMPATIBILIZAÇÃO USANDO BIM	45
3.3.4.1	ESCOLHA DE SOFTWARE PARA COMPATIBILIZAÇÃO	45
3.3.4.2	SOBREPOSIÇÃO E DETECÇÃO DE INTERFERÊNCIAS	51
3.3.5	ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	53
3.3.6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53

4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	54
4.1	COMPATIBILIZAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL – OBRA A	56
4.2	COMPATIBILIZAÇÃO UTILIZANDO BIM – OBRA B.....	63
4.3	SÍNTESE DOS RESULTADOS	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – PROTOCOLO PARA REALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO	
	SISTEMÁTICO SIMPLIFICADO DA LITERATURA (MS).....	83
	APÊNDICE B – ARTIGOS EXTRAÍDOS COMO RESULTADO DO MS.....	89
	APÊNDICE C – EXEMPLO DE PARECER DE COMPATIBILIZAÇÃO	91
	APÊNDICE D – QUESTÕES NORTEADORES PARA ENTREVISTA.....	92

1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo aborda a contextualização na qual o tema se insere e a justificativa do trabalho, além da questão da pesquisa e dos objetivos a serem atingidos.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A construção civil é um relevante setor na economia, visto que contribui na geração de empregos diretos e indiretos, além de favorecer o desenvolvimento urbano e social a cada ano. Em 2022, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o produto interno bruto (PIB) da Construção Civil teve um aumento de 6,9%. Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua) do IBGE, o setor encerrou o segundo trimestre de 2022 com 7,487 milhões de pessoas ocupadas no país (ABRAINC, 2023). Diante de tal relevância, torna-se pertinente a reflexão de melhorias no ramo, a fim de entender problemas corriqueiros e suas origens, podendo incorporar medidas preventivas para tais problemas e, como efeito, ter procedimentos mais assertivos no setor.

Uma problemática, apontada por Aquino (2005) e ainda corroborada por estudos recentes, é que a construção civil é marcada por uma indústria que desenvolve o seu produto final sem uma definição clara e objetiva de como irá produzi-lo. Essa questão é geralmente identificada apenas na fase de execução, quando se depara com os desperdícios de tempo e dinheiro. Tudo isso compromete a qualidade do produto final, isto é, a edificação.

Nesse contexto, uma das fases iniciais do processo de construção é a de projetos. A NBR 16636-1 (2017) define projeto como sendo a “representação do conjunto dos elementos conceituais, desenvolvida e elaborada por profissional legalmente habilitado, necessária à materialização de uma ideia, realizada por meio de princípios técnicos e científicos, visando a consecução de um objetivo ou meta, adequando-se aos recursos disponíveis, leis, regramentos locais e às alternativas que conduzam à viabilidade da decisão”. O projeto se configura ainda como componente essencial no discernimento de um empreendimento (SOUZA *et al.*, 1995). Dessa forma, o projeto deve refletir o idealizado em sua concepção para a construção por meio do desenho técnico e da visualização gráfica, de modo que a divisão e organização do espaço físico atenda ao plano de necessidades e requisitos diversos, como conforto e desempenho.

Além disso, com a definição dos projetos, é possível deliberar sobre os métodos construtivos e tecnologias a serem utilizadas na execução da obra, o que influi diretamente nas etapas de planejamento e cronograma. De acordo com Laufer e Tucker (1987), o planejamento

precisa abranger quatro questões: o que fazer (atividades), como realizar (método), quem irá executar (recursos) e quando executar (cronograma), o que corrobora a valia dos projetos, para tanto, no processo de planejamento.

Uma edificação pode englobar projetos de diferentes disciplinas (Arquitetura, Fundações, Estruturas, Instalações Elétricas, Instalações Hidrossanitárias, dentre outras). A quantidade de projetos a ser desenvolvida será determinada pelo porte e complexidade do empreendimento (HERRERA *et al.*, 2021). Comumente, para uma dada obra, tem-se diferentes projetistas trabalhando na elaboração dos projetos de cada disciplina de forma isolada. A segmentação das especialidades de disciplinas que compõem o produto final implica na falta de uma visão macro por parte dos agentes produtores (MELHADO, 2005). Como consequência, os projetos passaram a apresentar incompatibilidades, estas somente detectadas no final dos trabalhos dos projetistas ou pior, na execução da obra (GRUPO DE TRABALHO BIM, 2015).

Dito isto, imprevistos durante a execução ocasionam custos de tempo e custos financeiros, à medida que se estagnam os serviços para avaliar e selecionar soluções ou que se tem retrabalhos no canteiro. Tudo isso conduz à fuga do cumprimento dos cronogramas físico e financeiro da obra e caracteriza falha na produção (MUIANGA *et al.*, 2015). Com isso, as empresas encontram no serviço de compatibilização de projetos a solução para o exposto.

A compatibilidade fora definida como atributo do projeto cujos componentes dos sistemas ocupam espaços que não conflitam entre si (MACIEL *et al.*, 2022). Assim, a compatibilização é um serviço que engloba o ato de sobrepor ou reunir os vários projetos e identificar as interferências existentes entre eles, bem como programar reuniões, entre os diversos projetistas e a coordenação, no intuito de solucionar conflitos detectados (PICCHI, 1993). Nisto, os interesses individuais dos projetistas são ajustados às demandas do processo como um todo. De acordo com Chahrour *et al.* (2021), a prática deve ocorrer no contexto da coordenação de projetos.

No passado, os projetos eram desenvolvidos somente em formato 2D, o que condicionava o serviço de compatibilização a ser feito de forma manual com projetos impressos ou, mais recentemente, em softwares CAD 2D. No entanto, a representação 2D na compatibilização em projetos de edifícios é limitada e passível de erros (FERREIRA; SANTOS, 2007). Apesar disso, muitos profissionais continuam aderindo ao modo tradicional, o que é frequentemente justificado pelo custo empregado à implementação de ferramentas mais modernas de modelagem 3D e à capacitação para seu uso. Entretanto, a agilidade dos processos, a capacidade de prevenir problemas na execução e os ganhos na produção compensam os investimentos, como mostram alguns estudos de caso, por exemplo o realizado por Chahrour *et*

al. (2021). Além disso, com o advento da tecnologia, os processos de projeto e construção vão de uma representação bidimensional para o esboço de uma realidade de “n” dimensões (ADDOR *et al.*, 2010). Com isso, a necessidade de aderir aos métodos mais modernos é progressiva.

Nessa conjuntura, tem-se o *Building Information Modelling*, ou Modelagem da Informação da Construção (BIM), cuja utilização no Brasil foi estabelecida pelo Decreto 10.306/2020, de 2 de abril de 2020, “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 nº 9.983, de 22 de agosto de 2019”, trazendo tal necessidade de atualização também no setor privado e permitindo o desenvolvimento dos projetos de forma mais completa, inteligente e ágil. Dentre muitas de suas vantagens, o BIM surge como ferramenta capaz de superar as dificuldades do método tradicional de compatibilização, pois permite automatizar processos e trabalhar com interoperabilidade.

Diante do exposto, neste trabalho será feito um comparativo da prática de compatibilização, analisando como a metodologia BIM se sobressai ao método tradicional de sobreposição de projetos em 2D, através de estudo de caso.

1.2 QUESTÕES DA PESQUISA

Com base na problemática abordada, esse trabalho tem as seguintes questões de pesquisa:

a) Questão de pesquisa geral:

“Como o uso do BIM pode auxiliar na compatibilização de projetos?”

b) Questões de pesquisa específicas:

- Quais as principais causas da incompatibilidade de projetos?
- Quais as principais dificuldades para implementação do BIM na gestão de projetos?

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar o processo de compatibilização de projetos pelo método tradicional e utilizando o BIM.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- a) Apresentar as principais incompatibilidades de projetos e suas interferências na obra;
- b) Identificar as dificuldades de implementação do BIM para compatibilização de projetos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo são apresentados a contextualização com a justificativa do trabalho, as questões de pesquisa e os objetivos geral e específicos do trabalho.

O segundo capítulo abordará o referencial teórico, contendo os conceitos relacionados aos projetos, compatibilização e metodologia BIM embasados pela revisão bibliográfica.

O terceiro capítulo discorrerá sobre o método de pesquisa adotado para o presente trabalho.

O quarto capítulo apresentará os resultados e discussões do processo de compatibilização.

O quinto capítulo abordará as considerações finais. Ao final, serão mostrados as referências bibliográficas e os apêndices.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico do trabalho, abordando definições e conceitos relacionados a projetos, compatibilização e BIM, baseados na revisão bibliográfica realizada a partir da leitura de trabalhos clássicos, como o livro Manual do BIM, e da condução de um mapeamento sistemático (MS) simplificado da literatura.

2.1 PROJETO

Existem variações da definição de projeto na literatura, mas todas convergem no sentido de que o projeto possui um resultado ou objetivo a ser alcançado, em um espaço de tempo determinado. Segundo o Guia PMBOK® (*Project Management Body Of Knowledge*, ou “Guia de Conhecimento sobre Gerenciamento de Projetos” em português), o projeto pode ser definido como um empreendimento temporário, que demanda uma série de esforços, com a finalidade de criar um produto, serviço ou resultado único (PMI, 2008). Com isso, entende-se que um projeto tem início, meio e fim e precisa de recursos empregados para ser concretizado.

Na década de 90, Melhado (1994) mencionava o projeto como um serviço partícipe do processo de construção. Ainda hoje, diversos estudos têm mostrado a importância e impacto dos projetos para a construção civil. A Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura – ASBEA (2019) corrobora com o exposto e descreve o projetista como “a empresa ou profissional capacitado para conceber e/ou desenvolver soluções de projeto para uma dada disciplina (arquitetura, estrutura de concreto armado, vedação de alvenaria, sistemas de automação residencial, luminotécnica etc.), integrante da equipe de projeto contratada para um dado empreendimento”.

Todo projeto receberá um conjunto de necessidades a serem atendidas, e as organizará de modo que transmita as soluções através do escopo do que será executado, isto é, transmitirá as características físicas a serem seguidas na execução do produto final, no caso, a edificação. A NBR 16636-1 (2017) define edificação como “objeto do espaço construído, coberto e fechado, constituído de um conjunto de sistemas, elementos e componentes estabelecidos e integrados em conformidade com os princípios e normas técnicas vigentes”. A mesma norma apresenta o conceito de projeto completo, que é “a etapa dedicada à finalização da compatibilização, detalhamento das definições construtivas e à finalização de toda a documentação necessária à construção do objeto de projeto, que envolve o conjunto de desenhos, memoriais, memórias de cálculo e demais informações técnicas advindas das especialidades totalmente compatibilizadas e aprovadas pelo cliente, necessários à completa

execução de obra de construção civil”, inferindo que um projeto precisa ser totalmente compatibilizado para ser considerado completo.

Em geral, o projeto abrange três estados em seus níveis de desenvolvimento: anteprojeto, projeto básico e projeto executivo. Observando-se as normas e a legislação, pela NBR 16636-1 (2017) e pela Lei Nº 14.133, de 1º de abril de 2021 (nova lei de licitações e contratos administrativos), é possível entender os três conceitos:

- **Anteprojeto:** pode ser interpretado como uma etapa ou uma entrega. Como etapa, destina-se à concepção e à representação das informações técnicas provisórias de detalhamento do projeto da edificação, bem como dimensionamento preliminar do que será elaborado pelas especialidades envolvidas. Como entrega, trata-se de uma peça técnica com todos os subsídios necessários à elaboração do projeto básico, que deve conter alguns elementos fundamentais, como a demonstração e justificativa do programa de necessidades, avaliação de demanda do público-alvo, motivação técnico-econômico-social do empreendimento, visão global dos investimentos e definições relacionadas ao nível de serviço desejado; prazos também já devem ser estudados nessa etapa e é importante possuir um traçado geométrico ou projeto arquitetônico inicial que retrate a ideia.
- **Projeto básico:** compõe o conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para definir e dimensionar a obra ou o serviço, ou o complexo de obras ou de serviços envolvidos, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegure a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter informações como a identificação dos tipos de serviços a executar e dos materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como das suas especificações.
- **Projeto executivo:** é o conjunto de elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, com o detalhamento das soluções previstas no projeto básico, a identificação de serviços, de materiais e de equipamentos a serem incorporados à obra, bem como suas especificações técnicas, de acordo com as normas técnicas pertinentes vigentes.

Dessa forma, nota-se que no início do desenho do projeto está a ideia básica do investidor, descrevendo características básicas do edifício proposto, como a volumetria, a forma, finalidade etc. A fase inicial tem grande importância, visto que a qualidade do desenho do projeto depende, entre outras coisas, da qualidade das informações de entrada: sua confiabilidade e precisão (PRUSKOVÁ, 2020).

A OT-IBR 004 (2012), Orientação Técnica do Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas – IBRAOP, aponta que o nível de desenvolvimento de um projeto tem impacto direto no grau de precisão da estimativa de custos ou de seu orçamento e aborda um intervalo para aferir o grau de precisão de orçamento nas diversas fases de projeto, como mostra o Quadro 01.

Quadro 01 – Faixa de precisão esperada do custo estimado de uma obra em relação ao seu custo final

TIPO DE ORÇAMENTO	FASE DE PROJETO	FAIXA DE PRECISÃO
Preliminar	Anteprojeto	± 20%
Detalhado ou analítico	Projeto básico	± 10%
Detalhado ou analítico definitivo	Projeto executivo	± 5%

Fonte: Adaptado de IBRAOP (2012)

Durante muito tempo, os projetos eram representados em papel por meio de desenhos bidimensionais a lápis (plantas, cortes e outros) (CZMOCH *et al.*, 2014). Os desenhos 2D ainda são a base de projetos em muitas localidades, no entanto, os avanços tecnológicos possibilitaram a modernização dos métodos disponíveis para elaboração de projetos.

A primeira grande transformação de processo projetual se deu pela migração para os desenhos, também bidimensionais, mas feitos em computadores, utilizando os softwares para CAD-*Computer Aided Design* (ou “projeto auxiliado por computador”, ou ainda “desenho auxiliado por computador”). Posteriormente, a evolução dos *softwares* e *hardwares* possibilitou a construção virtual, originando o conceito e processo da Modelagem da Informação da Construção (BIM), que permite modelos tridimensionais e pressupõe um modelo que engloba todas as informações relativas à construção, nas diversas fases de seu ciclo de vida (ASBEA, 2013).

Progressivamente, os edifícios são desenvolvidos para serem mais confortáveis, compactos, inteligentes, ecologicamente corretos e atraentes. Isso exige que o projeto dos edifícios seja mais sofisticado e que os projetistas lidem com informações mais complicadas (JIA *et al.*, 2017). Nesse sentido, a elaboração de projetos com mais tecnologia empregada se torna vantajosa, ocasionando projetos mais assertivos, com a possibilidade de realizar até

mesmo testes de eficiência, além de permitir uma visualização realista que traz maior valor agregado para o cliente.

Quanto maior o porte da edificação, maior o número de disciplinas envolvidas. Contudo, a arquitetura é parte central do projeto completo de edificação, pois é a disciplina que direciona as soluções das demais (GRUPO DE TRABALHO BIM, 2015). A disciplina é a área de atuação ou especialidade dos agentes inseridos dentro dos processos e procedimentos desenvolvidos ao longo do ciclo de vida do projeto ou empreendimento (ABNT NBR 15965-1, 2011).

Cada disciplina (arquitetônico, estrutural, elétrico etc.) de projeto de uma obra ou empreendimento é constituída por um volume de informações impressas em várias pranchas, memoriais, detalhes diversos e, são conduzidas por profissionais distintos que geralmente não se atentam às questões das outras especialidades inseridas na obra. (MACIEL *et al.*, 2022). Desenvolver os projetos com profissionais e empresas diferentes, em condições de espaço físico e de tempo diferentes, além de ferramentas de trabalho diferentes, faz surgir conflitos entre os sistemas, que, ao serem descobertos apenas na fase de execução, interferem no desempenho da obra (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022).

Nesse cenário, o desenvolvimento dos projetos deve ser coordenado para alcançar um resultado certo e de qualidade de forma eficaz. A atividade de coordenação é uma atividade técnica que faz análise crítica das interfaces dos projetos das diversas especialidades voltadas a uma construção (PRUSKOVÁ, 2020). Assim, o coordenador de projetos assessora as demandas dos profissionais envolvidos na realização da obra e faz a gestão das partes interessadas de modo que o escopo alcance total compatibilização.

2.2 COMPATIBILIZAÇÃO

A compatibilização de projetos possui a finalidade de detectar e solucionar as incompatibilidades entre as diferentes disciplinas de projeto de um empreendimento, e é tida como uma etapa de grande relevância para o processo construtivo das edificações (MACIEL *et al.*, 2022). Na prática, compreende a atividade de sobrepor os vários projetos para averiguar as interferências entre eles, bem como programar reuniões entre os diversos projetistas e a coordenação, com o objetivo de providenciar a melhor solução para as incompatibilidades detectadas (MELHADO, 2005).

No Brasil, a maioria das empresas de projeto perdem muito na qualidade dos seus produtos por não investirem na compatibilização dos projetos, visto que projetos incompatíveis

chegando ao canteiro de obras para execução podem acarretar custo elevado nas fases futuras, atraso no cronograma e aumento do orçamento final da obra (CAETANO *et al.*, 2020).

Na Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção Civil (AEC), a compatibilização ainda é realizada predominantemente da maneira convencional, isto é, pela sobreposição de plantas baixas em sistemas CAD 2D. Com as novas tecnologias, tem-se a metodologia BIM como percurso mais viável e produtivo para projetistas e coordenadores de projetos (MACIEL *et al.*, 2022), acelerando a eliminação dos mais diversos tipos de conflito.

A classificação de conflitos é apresentada na literatura de algumas formas, mas comumente se baseia no grau de impacto da incompatibilidade encontrada ou se refere ao atraso potencial do processo da construção relacionado ao conflito (CHAHROUR *et al.*, 2021).

Riley *et al.* (2005) abordaram uma classificação de três tipos se referindo ao tempo de detecção de conflito em relação ao estágio do projeto:

- Tipo 1: detectado e resolvido antes do início da instalação;
- Tipo 2: detectado após o empreiteiro ter concluído o trabalho e o projetista ter que reconduzir o projeto (*as built*);
- Tipo 3: detectado após o empreiteiro ter concluído o trabalho e o cliente precisa esperar.

Posteriormente, Staub-French *et al.* (2007) apresentaram os conceitos de “choques suaves” para tratar de interferência entre componentes físicos, mas com espaço livre, e “choques fortes” para interferência direta entre componentes.

Em 2012, Han *et al.* (2012) explicitaram três graus se referindo ao nível de impacto causado pelas incompatibilidades, sendo eles: interrupção dos serviços (1); perda de produtividade (por aguardo de informações solicitadas ou por pedidos de alteração) (2) e retrabalho (3).

Dois anos depois, Wang (2014) classificou os confrontos também pelo grau de impacto, sendo estes: alto – os que levam a custos excessivos e atrasos no cronograma e precisam de atenção imediata; médio – os que têm médio impacto no custo e no cronograma e precisam ser resolvidos antes da construção, mas sem urgência; e baixo – os que geram impacto mínimo no custo e no cronograma e podem ser facilmente resolvidos em campo.

Simultaneamente, Czmocho *et al.* (2014) abordaram os termos:

- *Heavy collisions* (colisões pesadas) – para dois elementos que ocupam o mesmo espaço físico;

- *Light collisions* (colisões leves) – para o espaço livre (folga ou tolerância) necessário para montagem de instalações; e
- *Technological collisions* (colisões tecnológicas) – para a verificação da sequência de montagem e cronograma de entrega, verificando o número de trabalhadores e o tempo necessário para concluir a fase de construção.

No ano seguinte, o Grupo de Trabalho BIM (2015) aborda nos manuais da ASBEA termos e definições semelhantes, sendo: *hard clash*, *soft clash* e *time clash*, diferindo de Czmoach *et al.* apenas neste último, que se trata de elementos que podem colidir ao longo do tempo, seja durante a construção ou já no uso do edifício.

Chahrour *et al.* (2021) buscou uma definição de categorias que relacionasse a magnitude do conflito com as ações necessárias para solucioná-los e com a dependência do envolvimento das partes interessadas, como mostra o quadro abaixo.

Quadro 02 – Categorização dos conflitos

Categoria	Partes interessadas necessárias			Ação necessária		
	Empreiteiro	Projetista	Cliente	Retificação	Reconstrução	Redesenho
MAIOR	X	X	X	X	X	X
MÉDIO	X	X	-	X	X	-
MENOR	X	-	-	X	-	-

Fonte: Adaptado de Chahrour *et al.* (2021)

Isso quer dizer que um conflito de maior magnitude precisaria envolver o projetista, o empreiteiro e ainda o cliente, visto que uma mudança de projeto seria necessária, devendo ser aprovada pelo cliente, enquanto um conflito do tipo médio não precisaria envolver o cliente e dispensaria a necessidade de redesenho. Por fim, conflitos menores podem ser resolvidos pelo empreiteiro, necessitando apenas de retificações (CHAHROUR *et al.*, 2021). Dessa forma, nota-se que a necessidade de alterações para resolução de conflitos, principalmente se houver custo financeiro ou atraso de cronograma atrelado, torna o processo construtivo mais complexo e desagradável.

Há desafios no processo da compatibilização, possuindo os métodos tradicionais dificuldades maiores, principalmente se tratando do tempo necessário para detecção dos conflitos ainda durante a fase de projetos (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022).

A sobreposição de desenhos em papéis de rastreio para descobrir visualmente todas as interseções tende a ser extinta, no entanto, os sistemas CAD 2D passaram a ser utilizados com

os mesmos princípios, ou seja, a separação dos desenhos em camadas de cores diferentes, sendo visualmente comparadas na tela do computador (CZMOCH, 2014). Neste método, a visualização e compreensão do projeto se torna limitada (FERREIRA; SANTOS, 2007). Anos depois, é nítido que, além de depender da atenção humana, a identificação manual ou tradicional de conflitos se torna demorada e requer experiências ou conhecimentos gerais em projetos (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022).

A análise visual precisa ser minuciosa, devido ao volume de informações a serem observadas, o que demanda tempo e é mais suscetível a erros. Além disso, para realizar uma análise mais aguçada, é necessário possuir embasamento técnico para comparar os desenhos com olhar crítico e, encontrando os conflitos, ser capaz de sugerir melhorias (HSU, 2020).

Ferreira e Santos (2007) listaram algumas características da representação bidimensional de projetos que podem tornar a compatibilização ineficaz, como ilustra o Quadro a seguir.

Quadro 03 – Características da representação em 2D que podem gerar problemas de análise no processo de projeto (continua)

Característica	Descrição
Ambiguidade	A mesma representação pode ser interpretada de mais de uma forma, mesmo que adicionada de notas, símbolos ou esquemas, em geral em algum ponto do contexto do desenho que pode não ser claramente percebido.
Simbolismo	O objeto é representado por um símbolo cujas dimensões e formas não têm relação com o objeto real que representa.
Omissão	Na tentativa de tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações consideradas “óbvias” para o especialista que está projetando. Entretanto, para a análise de outros envolvidos, a informação em geral é desconhecida e, por não estar representada, não é levada em consideração. Também pode se caracterizar pela omissão de uma elevação ou corte necessário para a correta interpretação do projeto.
Simplificação	O projetista simplifica uma determinada representação, alterando o volume real do objeto ilustrado. Este problema é semelhante ao do simbolismo, porém, diferentemente deste, a simplificação guarda algumas relações de forma e dimensão com o modelo real, porém esta característica não as representa explicitamente.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Santos (2007)

Quadro 03 – Características da representação em 2D que podem gerar problemas de análise no processo de projeto (conclusão)

Característica	Descrição
Fragmentação	A fragmentação está relacionada à separação da informação em várias vistas ortográficas (planta, elevação, corte) e pode ser agravada com a eventual representação destas vistas em folhas separadas. O esforço cognitivo é aumentado quando é necessário correlacionar informações representadas em duas vistas diferentes, favorecendo o erro. Esse procedimento é diferente do desenho mecânico, onde as vistas devem sempre ser alinhadas, facilitando a correlação dos detalhes das vistas.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Santos (2007)

Além disso, outro desafio é a falta de padronização na contratação atual dos projetos e suas entregas, por exemplo, alguns projetos estão sendo entregues em modelos 3D, enquanto em sua maioria os projetos são ainda em 2D (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022).

Para realizar a compatibilização, é necessário o acesso a todos os projetos da edificação. Quando pelo menos um projeto está atrasado, acaba interferindo no processo, pois impossibilita a realização da análise em tempo hábil, isto é, antes da execução da obra. Shebob *et al.* (2012) define projeto atrasado como um projeto que não cumpre o cronograma esperado e aborda que dificilmente os projetos de construção são concluídos dentro do prazo especificado, podendo variar de alguns dias a vários anos.

As causas de atrasos são diversas, incluindo: quando o contratante pede alterações de projeto ou demora a fornecer informações solicitadas, atraso na revisão e aprovação de documentos de projeto, má comunicação e coordenação entre as partes do projeto, lentidão do empregador em tomar decisões importantes e atrasos nos pagamentos causados pelo empregador devido a dificuldades financeiras (BARQAWI *et al.*, 2021).

Por tudo isso, o trabalho isolado dos projetistas é apontado como a principal causa do alto número de conflitos em diversas pesquisas (AKPONEWARE, 2017). Este problema pode ser mitigado por meio da adoção da metodologia BIM que, de acordo com Eastman *et al.* (2014), possui a interoperabilidade como uma de suas características.

2.3 METODOLOGIA BIM

A Modelagem da Informação da Construção – BIM (*Building Information Modeling*) – é uma abordagem para o projeto, a construção e o gerenciamento de instalações. Com a tecnologia, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital

(EASTMAN *et al.*, 2014). O BIM é definido como não só uma tecnologia de modelagem, mas como um conjunto associado de processos para produzir, analisar e comunicar modelos de construção.

A ABNT NBR ISO 19650-1 (2022) descreve Modelagem da Informação da Construção como: uso de uma representação digital compartilhada de um ativo imobiliário, para facilitar os processos de projeto, construção, operação e manutenção para formar uma base confiável para decisões.

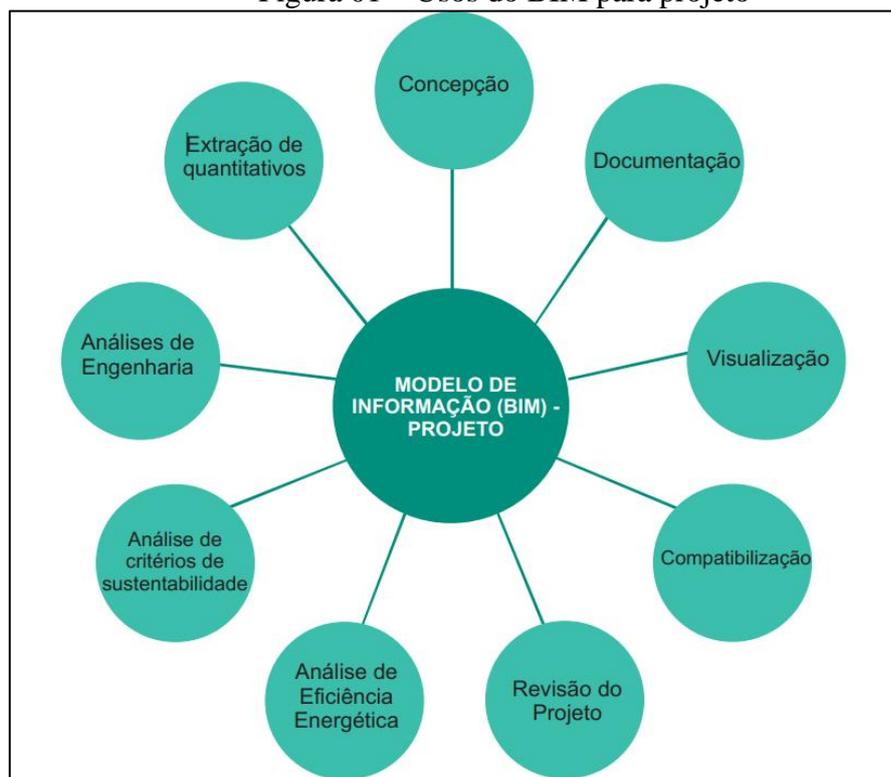
Outro conceito importante para entendimento do BIM é o de objetos paramétricos, que consistem em definições geométricas e dados e regras associadas, regras estas que permitem modificar automaticamente as geometrias associadas. Em síntese, um objeto paramétrico tem parâmetros a ele atribuídos. As tecnologias que permitem que um usuário desenvolva modelos de construção que consistam em objetivos paramétricos são consideradas ferramentas BIM de autoria, já os modelos que só possuem dados 3D sem atributos de objetos, não se caracterizam como tecnologia BIM (EASTMAN *et al.*, 2014).

A centralização de dados em um modelo com informações e parâmetros atribuídos se torna a principal característica positiva do uso de BIM, em que, ao invés de várias documentações especializadas contendo projetos de arquitetura e outros, bem como listas de quantidades e estimativas de custos, tem-se um modelo único 3D com um banco de dados contendo todas as informações acima (CZMOCH *et al.*, 2014). Nos últimos anos, o BIM surge como uma solução atraente para problemas como erros e retrabalhos nas fases de pré-construção e construção (ALMASHJARY *et al.*, 2020).

Por meio do processo BIM, é possível simular uma obra com mais propriedade e profundidade verificando e equalizando todas as interferências entre os diversos projetos (GRUPO DE TRABALHO BIM, 2015). Para as obras, as exigências estão na busca de maior assertividade nos custos, planejamento mais eficaz, melhor controle de prazos, com menos desperdício e com mais qualidade. Nesse sentido, em suas diversas possibilidades de aplicações, o BIM se faz essencial para ajudar a alcançar essas demandas.

As aplicações do uso do BIM podem variar, sendo úteis ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento do projeto, construção e operação do edifício, conforme ilustrado na Figura 01.

Figura 01 – Usos do BIM para projeto



Fonte: ASBEA (2013)

2.3.1 Dimensões BIM

A depender da quantidade de informações atreladas ao modelo e seu uso, pode-se falar em “dimensões de BIM” (Figura 02), sendo oito o número de dimensões definidas e mencionadas no mercado atual da AEC.

BIM 3D-*Shape* (forma) – refere-se ao modelo paramétrico 3D virtual e pode ser entendido como uma extensão natural do design 2D. BIM 4D-*Scheduling* (programação) – nesta dimensão a variável tempo é inserida, possibilitando a programação e sequência de montagens ou divisão de fases. BIM 5D-*Estimating* (estimativa) – inclui orçamento e análise de custos, permitindo uma otimização no custo total do empreendimento. BIM 6D-*Sustainability* (sustentabilidade) – esta dimensão envolve informações ligadas a impactos ambientais e consumo sustentável, como a análise de eficiência energética por meio de ferramentas específicas. Por exemplo, pode-se testar os requisitos dos selos ambientais internacionais LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*, ou Liderança em Energia e Design Ambiental) e BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*, isto é, método de avaliação ambiental e sistema de classificação para edifícios). BIM 7D-*Facility Management Applications* (Aplicações de gerenciamento de

instalações) – a 7ª dimensão inclui o gerenciamento dos ativos, com dados específicos que permitam a devida manutenção da edificação. BIM 8D-*Health and Safety* (saúde e segurança) – abrange informações atreladas à segurança no canteiro de obras, prevendo riscos e melhorias através do modelo. BIM 9D-*Lean Construction* (construção enxuta) – permite racionalizar as etapas envolvidas na fase de construção, prevendo possíveis desperdícios de recursos e melhor destinação. BIM 10D-*Industrialization Processes Of Constructions* (industrialização da construção) – a dimensão que propõe industrializar o máximo possível para tornar o setor mais produtivo.

Figura 02 – BIM dimensions (dimensões BIM)



Fonte: ACCA (2018)

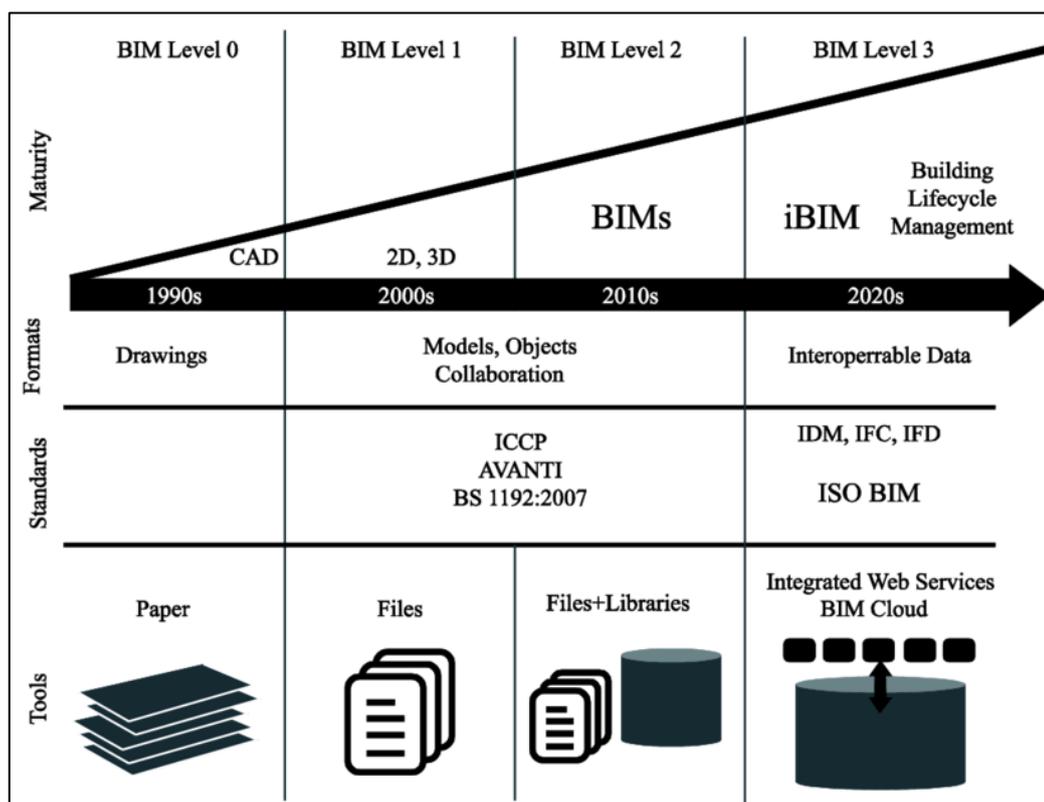
2.3.2 Maturidade BIM e dificuldades de implementação

Eastman *et al.* (2014) discorrem que, para atingir uma implementação integrada do BIM, seis características principais devem ser evidenciadas no modelo: ser digital, espacial (3D), mensurável, abrangente, acessível (a toda equipe do empreendimento e ao proprietário, em interface interoperável e intuitiva) e durável, ou seja, um modelo útil em todas as fases do ciclo de vida da edificação.

O conceito de maturidade BIM é usado para mensurar os avanços alcançados no sentido da implementação da metodologia. Ao perceber o estágio em que se encontra na adoção do BIM, a empresa pode tomar decisões mais assertivas para melhorar seu desempenho.

Algumas matrizes foram desenvolvidas para apontar o nível de maturidade BIM. Uma delas é *BIM Maturity Levels (iBIM)*, do Reino Unido, proposta por Mark Bew e Mervyn Richards (2008), descrevendo 4 níveis de projeto baseados em CAD e BIM, como mostra a Figura 03.

Figura 03 – *BIM Maturity Levels (iBIM)*



Fonte: Bew & Richards (2008); Systèmes (2014).

O BIM “*level 0*” (nível zero ou pré-BIM) contém documentação em papel, criada à mão ou com o auxílio de programas CAD 2D ou 3D, sem informações associadas ao desenho; o BIM “*level 1*” (nível um), que possui documentação 2D e 3D na forma de arquivos digitais com informações básicas como quantitativos de materiais e custos unitários, mas sem o uso de um banco de dados detalhado. Além disso, nesse nível não há mudanças na forma contratual, a aquisição dos projetos continua na forma tradicional. O “*level 2*” (nível dois) apresenta os diferenciais da colaboração entre disciplinas e do gerenciamento de biblioteca, o que implica em mudança na estrutura de contratação dos projetos e nos processos internos da empresa. Por fim, o “*level 3*” (nível três) - BIM inteligente (iBIM), de integração ampla, que engloba o

gerenciamento da construção ao longo do ciclo de vida do projeto, ou seja, projeto, construção e operação. Além disso, espera-se a introdução de padrões ISO e o uso generalizado de formatos BIM, por exemplo, IDM, IFC, IFD.

A tecnologia BIM começou a ser usada principalmente nos últimos quatro anos e tem crescido gradualmente em diversos lugares do mundo (FAMADICO, 2023). No entanto, há barreiras que dificultam a implementação da metodologia na indústria, devido à necessidade de mudança organizacional, dentre outros investimentos, como os preços altos de *hardware* e *software* (CZMOCH *et al.*, 2014). A exemplo, o estudo de Akhmetzhanova *et al.* (2022) mostra que empresas de pequeno porte do Cazaquistão estão mais interessadas em adotar a tecnologia BIM; na China, até 2017 o uso do BIM para edifícios residenciais não ganhou ampla aceitação (JIA *et al.*, 2017). Ou seja, conforme aponta Czmoich *et al.* (2014), o custo de implementação bloqueia principalmente os pequenos escritórios de projetos a adotarem a mudança mais rapidamente, fazendo com que se mantenham no nível pré-BIM ou no nível 1.

Uma das razões para a falta de sucesso na implementação do BIM em alguns locais é o número ainda pequeno de projetos exemplo que mostrem os custos consistentes e um bom desempenho econômico promovido pelo investimento em BIM (CZMOCH *et al.*, 2014). Motivados por esse tipo de afirmação, Chahrour *et al.* (2021) realizaram um levantamento da literatura em que vários autores afirmaram que a maior parte da economia em um projeto BIM é alcançado devido à detecção e resolução de conflitos e, por meio de estudo de caso, observaram uma economia de 20% em um projeto milionário.

As barreiras para implementação do BIM podem ser entendidas sob duas perspectivas: a dos usuários BIM e a dos não usuários (EADIE *et al.*, 2014). Tais barreiras podem ser do tipo pessoal, ou atrelada aos processos BIM, ao mercado ou à organização, dentre elas a mudança drástica no organograma e fluxo de trabalho. A falta de pessoal qualificado em BIM e o conhecimento superficial da metodologia, suas responsabilidades e riscos, geram a necessidade de um tempo de preparo para avançar na maturidade BIM, do contrário, investir antes de ter a empresa capacitada, pode potencializar outro problema já existente na AEC, que é o atraso de projetos (CZMOCH *et al.*, 2014).

Para o empreiteiro – ou construtor –, avançar em maturidade BIM depende diretamente do mercado de projetos, precisando reformular o modelo contratual habitual. O conhecimento das obrigações contratuais de todas as partes envolvidas é importante para garantir o fluxo de trabalho em BIM, no qual a comunicação eficaz é imprescindível, evitando problemas maiores como reclamações e quebra de contratos (BARQAWI *et al.*, 2021).

Famadico (2023) reuniu estudos da situação do BIM em diversos lugares, como África do Sul e Paquistão, os quais apontam uma resistência de funcionários seniores quanto à mudança das práticas de projeto, pautada na crença de que a prática tradicional está atendendo bem à demanda. Simultaneamente, nas Filipinas, as universidades e faculdades não ofereciam educação baseada em BIM, e as construtoras e proprietários também não se engajaram ainda para aderir ao BIM. Essa realidade se repete em diversos outros países, como o Brasil, em que os esforços para inserção do BIM no ambiente acadêmico ainda percorrem seus primeiros passos.

O quadro seguinte resume as principais barreiras mapeadas por Famadico (2023), descritor das questões de custo, falta de capacitação e desintegração da equipe do projeto como as principais dificuldades que as empresas têm para implementação do BIM.

Quadro 04 – Principais barreiras para o BIM

Barreiras
Licenças caras de <i>software</i> BIM e custo de <i>hardware</i> ;
Alto custo de treinamento de pessoal;
Financiamento e orçamento do projeto limitados;
Falta de profissionais qualificados e capacitados para manusear ou operar ferramentas e softwares BIM;
Custos caros de serviços baseados em pessoas.

Fonte: Adaptado de Famadico (2023)

Das sugestões encontradas na literatura como medida para acelerar os avanços em BIM, nota-se que no Brasil tem se concretizado o que foi descrito por Gartoumi *et al.* (2021), que sugere que o governo ou os clientes insiram o BIM como condição para o firmamento de seus contratos, por meio de legislação e fiscalização. No âmbito governamental, a legislação nacional parte do Decreto nº 10306 de 2 de abril de 2020, que levou o Governo Federal à criação da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – Estratégia BIM BR, cuja finalidade é “promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e sua difusão no país”. A Estratégia pretende, dentre seus objetivos, incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM.

2.3.3 BIM como facilitador da compatibilização e a interoperabilidade

De acordo com o Manual de Boas Práticas em BIM, da ASBEA (2013), a função de compatibilização é um papel que cabe a todos os envolvidos no desenvolvimento de um projeto em BIM, sendo necessária, porém, a verificação interdisciplinar sistemática por um profissional

responsável, e o processo deverá produzir relatórios de interferências e distribuir as necessidades de revisões pela equipe. A figura seguinte indica as etapas, encerrando-se após a análise do atendimento às solicitações expedidas nas reuniões de compatibilização.

Figura 04 – Etapas do processo de compatibilização BIM



Fonte: GTBIM (2015)

Nesse contexto, a tecnologia BIM facilita o trabalho simultâneo das diversas disciplinas de projeto envolvidas em um empreendimento. Possuir modelos 3D coordenados permitirá gerenciar melhor o controle de modificações que venham a ser feitas, o que resulta na diminuição do tempo de projeto e reduz seus erros (EASTMAN *et al.*, 2014). Nisto, entende-se que a colaboração antecipada é um benefício do BIM na fase de pré-construção para o proprietário.

A literatura aborda algumas razões recorrentes para os erros de projeto em BIM, dentre elas: as restrições de tempo disponível para lidar com a complexidade dos objetos de projeto; o uso de 2D em vez de 3D por alguns projetistas resistentes; a má gestão e as práticas tradicionais de recursos humanos, além da falta de especialistas qualificados (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022). Da mesma forma, problemas de comunicação entre os membros da equipe, e a falta de informação sobre a tecnologia BIM dentro da empresa foram apontados como os principais motivos para a ocorrência de conflitos, destacando-se o trabalho isolado dos projetistas como causa principal (AKPONEWARE *et al.*, 2017).

O modelo 3D virtual da construção já elimina os erros de projeto oriundos das inconsistências de desenhos 2D. Além disso, o desenvolvimento mútuo dos projetos das disciplinas permite que estes sejam comparados de forma sistemática e visual, detectando conflitos muito antes de o projeto ir para o canteiro de obras (EASTMAN *et al.*, 2014). Tudo isso acelera o processo de construção e agiliza a descoberta de erros de projeto. Assim, a tecnologia BIM se torna facilitadora do processo de compatibilização, por permitir o trabalho interoperável aos projetistas e demais envolvidos.

A interoperabilidade se trata da possibilidade de realizar o compartilhamento adequado do Modelo de Informações da Construção entre os membros da equipe de um empreendimento, ou seja, baseia-se no intercâmbio de formatos de arquivos e facilita os fluxos de trabalho.

Quando cada projetista utiliza ferramentas distintas para modelagem, são necessárias ferramentas para transferir os modelos entre os ambientes. Como solução para o intercâmbio desses dados, tem-se o padrão IFC (EASTMAN *et al.*, 2014).

O IFC (*Industry Foundation Classes*) é o modelo de dados de produtos de construção mais conhecido no mercado AEC internacional. NAWARI (2018) aborda o IFC como uma chave que facilita a interoperabilidade de forma econômica, excluindo a dependência de um formato de arquivo específico. Isso elimina barreiras como a localização do destinatário e remetente, visto que todos podem transferir informações entre si a qualquer hora. Como referência normativa, tem-se a NBR ISO 16739-1 (2018), propondo um padrão internacional que define as características do formato IFC para compartilhamento de dados em um processo BIM.

A detecção de colisão em BIM é baseada em algoritmos desenvolvidos na indústria de jogos e computação gráfica. Os algoritmos de detecção de colisão BIM devem ser mais exatos do que rápidos. Portanto, os sistemas BIM fazem uso de procedimentos de computação gráfica, bem como de boas normas e práticas de engenharia (CZMOCH *et al.*, 2014).

Uma das formas práticas do trabalho colaborativo é o uso de modelos federados, isto é, um modelo central no qual estão vinculados os modelos das diferentes disciplinas de projeto existente. A criação de um modelo federado para compatibilizações é recomendada pela ASBEA (2013) e diversos especialistas em BIM no mercado. A princípio, é preciso realizar definição de sistema de coordenadas, para sincronizar corretamente os diversos projetos e viabilizar a análise de interferências.

Embora constitua um processo mais automatizado, a compatibilização utilizando ferramentas BIM não dispensa o trabalho de análise e compatibilização de projeto por parte de um profissional técnico com experiência apropriada, comumente intitulado como coordenador de projetos. Essas ferramentas podem gerar relatórios automáticos, mas podem existir incoerências no projeto que os softwares não detectam, como um tipo de conflito funcional (GRUPO DE TRABALHO BIM, 2015).

3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo abordará os aspectos referentes à metodologia utilizada na pesquisa desenvolvida neste trabalho, incluindo as etapas que delinearão o estudo.

3.1 ESTRATÉGIA DA PESQUISA

Baseando-se nos direcionamentos explicitados por Yin (2015), a estratégia de pesquisa adotada é o estudo de caso, já que a questão geral da pesquisa é do tipo “como” e já que o trabalho será realizado em um empreendimento (caso) definido.

De acordo com Ludke e André (1986), o método de estudo de caso é específico da pesquisa de campo e supõe o conhecimento de um fenômeno através da exploração de um único caso ou vários casos. Com isso, quatro etapas devem ser desenvolvidas: preparação teórico metodológica, seleção do caso, coleta de dados e análise de dados.

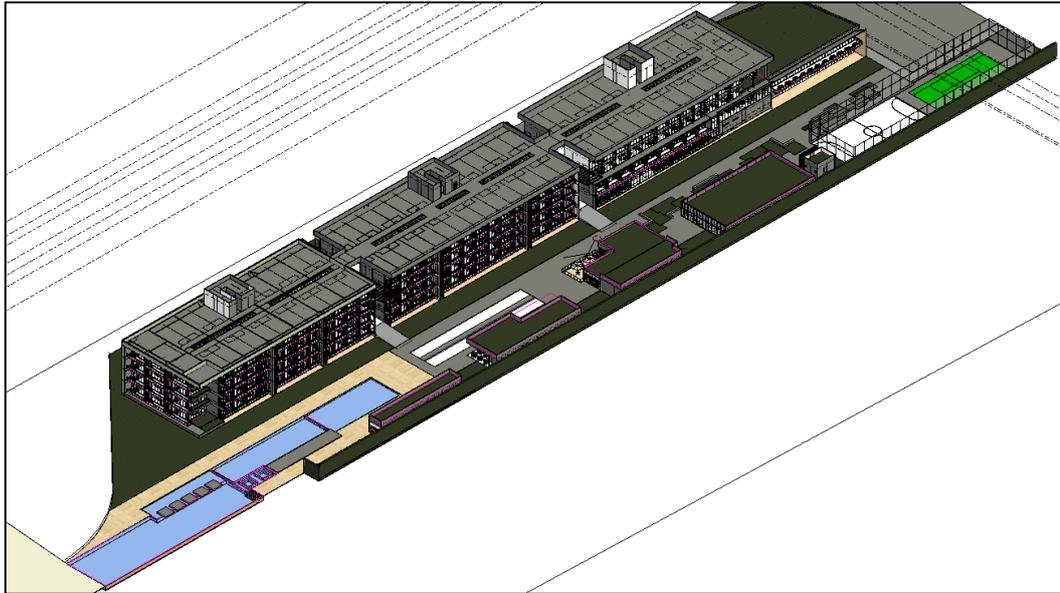
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO CASO

O caso estudado será o processo de compatibilização de projetos, no contexto do setor de coordenação de projetos localizado em um canteiro de duas obras vizinhas e simultâneas, sendo este o local de estágio da autora por mais de 1 (um) ano e 4 (quatro) meses. Neste trabalho, as duas obras serão identificadas como **Obra A** e **Obra B**. A primeira será o alvo de estudo da compatibilização na perspectiva do método tradicional, visto que o processo já foi realizado no local, tendo a autora como participante, permitindo ser analisado, enquanto a Obra B terá o enfoque da compatibilização com BIM, sendo realizada a compatibilização e a respectiva apresentação dos resultados durante este trabalho.

A Obra A terá como produto um hotel concebido para operar na categoria de All Inclusive Resort, com 227 unidades habitacionais distribuídas em 3 blocos intitulados como A1, A2 e A3, de quatro pavimentos cada, exceto o A1 que possui adicional de subsolo. O empreendimento contém ainda 5 blocos externos: spa, espaço kids, restaurante e bar da piscina, totalizando 37.263,43 m² de área construída, em terreno de 26.088,00 m² de área total. A obra teve seu custo total orçado em R\$ 74.248.923,43. Para os fins das análises e exposição dos resultados, será observado o bloco A1.

Nas Figuras 05 e 06, respectivamente, é possível ver a perspectiva geral do empreendimento, da versão do projeto arquitetônico utilizada como premissa de orçamento, e uma fotografia da obra executada até abril de 2023.

Figura 05 – Perspectiva geral da Obra A



Fonte: Empresa gestora da obra (2021)

Figura 06 – Registro da obra em execução



Fonte: Autora (2023)

Por se tratar de um hotel, com peculiaridades como possuir várias cozinhas e restaurantes, spa e grandes piscinas, projetos de mais de dez disciplinas estão englobados na sua construção, como: Projeto Arquitetônico; Fundações; Estrutural; Luminotécnico; Elétrico; Rede de Dados e Telecomunicações; Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas (SPDA); Hidrossanitário; Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado (AVAC); Proteção Contra Incêndio (PCI); Gás; Fachada e outros. Tal abrangência configura, portanto, o local atrativo para estudar o desenvolvimento de projetos e sua compatibilização.

A Obra B se trata de um condomínio residencial que totaliza 224 apartamentos, distribuídos em 4 blocos (A, B, C e D) com 4 pavimentos tipo e subsolo. Possui ainda áreas de

lazer comuns como: piscinas, quadras, salão de jogos, cinema e academia. Com área total construída de 41.430,68 m² e 31.743,76 m² de área de terreno, a obra foi orçada em R\$ 64.810.787,38. Os blocos A e B estão na fase de execução da estrutura, enquanto os blocos C e D estão na fase de alvenaria de vedação e revestimentos cimentícios. Para este trabalho, será estudado o bloco D. As figuras 07 e 08 representam uma perspectiva do projeto arquitetônico e um registro da obra, respectivamente.

Figura 07 – Perspectiva da Obra B



Fonte: Empresa gestora da obra (2021)

Figura 08 – Registro da execução do bloco B



Fonte: Autora (2023)

Apesar das diferenças de layout e finalidades das edificações, os projetos das obras A e B, seu desenvolvimento e compatibilização, podem ser objetos de comparação, considerando-

se aspectos como: localização geográfica circunvizinha, o que implica superar as mesmas dificuldades de locação de obra, atendimento de normas técnicas e códigos de obra locais vigentes; mesmo tipo de solo, nível do lençol freático e conseqüente semelhança no tipo de fundação adotada; projetistas em comum para as duas obras, principalmente na arquitetura, uma vez que os projetos arquitetônicos elaborados pelo mesmo escritório de arquitetura estabelecem a harmonização visual das obras lado a lado e a semelhança no padrão de acabamento; mesma equipe de coordenação de projetos e gestão de execução para as duas obras; e considerando ainda as características principais de edificações que definem tipos de projetos-padrão, abordadas pela NBR 12721 (2006) – que trata da avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – sendo elas:

- a) número de pavimentos;
- b) número de dependências por unidade;
- c) áreas equivalentes à área de custo padrão privativas das unidades autônomas;
- d) padrão de acabamento da construção;
- e) número total de unidades.

Tais características servem para definir os tipos de edificações e são uma base para os Sindicatos da Indústria da Construção Civil (SINDUSCONs) no cálculo dos custos unitários básicos da construção (CUBs).

3.2.1 Projetos das unidades de caso

Tratando-se dos projetos das duas obras, estes foram desenvolvidos por empresas distintas e independentes, tendo em comum, porém, o fornecedor dos projetos arquitetônicos, que neste caso tem uma peculiaridade: a ligação direta entre o escritório de arquitetura e a construtora, visto que o escritório de arquitetura é dirigido pelo mesmo arquiteto proprietário da construtora. Os projetos estruturais foram elaborados por duas empresas distintas para cada obra, ambas consolidadas há anos no mercado alagoano e especialistas em estrutura de concreto armado. A obra A, no entanto, possui alguns trechos em estrutura de concreto protendido.

Dos projetos complementares, para a Obra A, instalações hidrossanitárias (esgoto e águas pluviais, água fria e água quente) foram projetadas por um consolidado escritório de Maceió-AL. Para a Obra B, foi contratada uma empresa de projetistas de Recife-PE. Quanto aos demais projetos das duas obras, não há relevância em entrar em detalhes para os fins deste trabalho. Serão analisados, portanto, três projetos: arquitetônico, estrutural e hidrossanitário.

O quadro abaixo apresenta os softwares nos quais os projetos que serão discutidos foram desenvolvidos e os formatos disponibilizados para a obra.

Quadro 05 – Projetos das Obras A e B, *softwares* e formatos respectivos

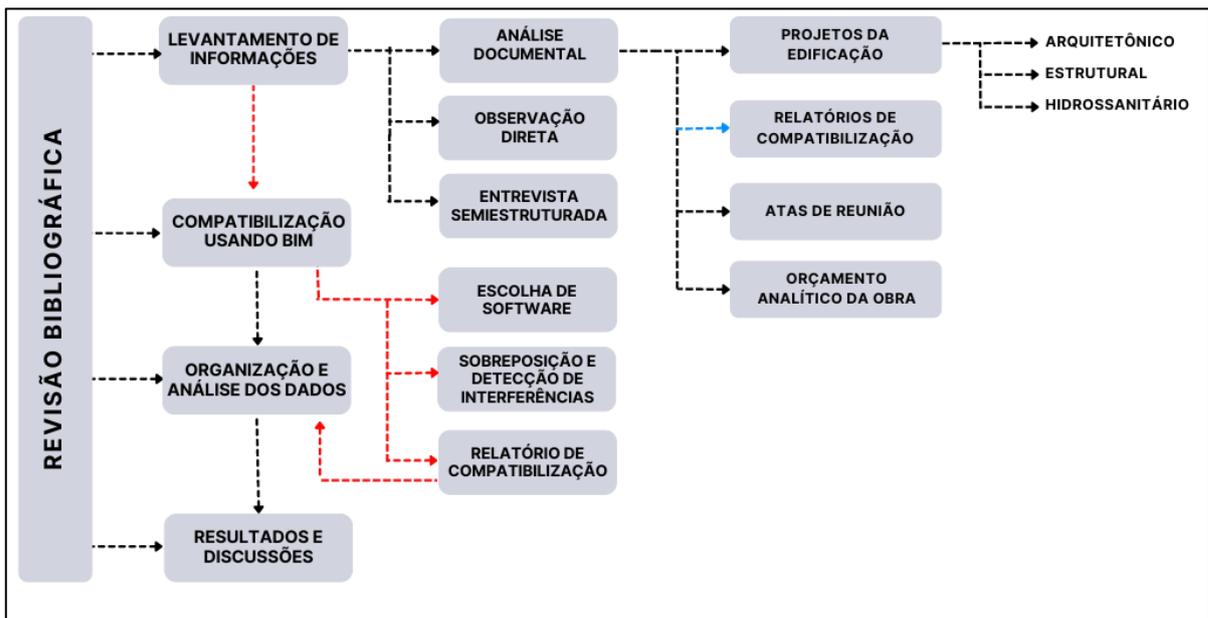
PROJETO	OBRA A	OBRA B	FORMATOS
Arquitetônico	Revit	Revit	.rvt; .dwg; .pdf
Estrutural	TQS	TQS	.ifc; .dwg.
Hidrossanitário	AutoCAD	Qi Builder	.dwg / .ifc

Fonte: Autora (2023)

3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para atender aos objetivos e questões de pesquisa, foi elaborado um fluxograma geral que apresenta o delineamento da pesquisa, ilustrado na Figura 09. Na imagem, o percurso na cor vermelha é realizado no âmbito da Obra B, o percurso azul sobre a Obra A, e os trajetos na cor preta ocorrem no contexto geral das duas obras. Em seguida, serão descritas as etapas a serem realizadas no trabalho. Enquanto estagiária, a autora participou da compatibilização da obra A e teve acesso aos demais documentos citados pertencentes à empresa (atas etc.).

Figura 09 – Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: Autora (2023)

3.3.1 Revisão bibliográfica

Mediante a importância do conhecimento técnico e da reunião de conteúdos relevantes, realizou-se inicialmente um mapeamento sistemático da literatura simplificado (MS) para a produção do trabalho. Existem diversos tipos de estudos secundários que seguem um processo de pesquisa metodologicamente bem definido para integrar e sintetizar evidências sobre um determinado tópico de interesse, dentre eles, o MS, que é uma forma de prover uma visão geral de um tópico de pesquisa mais amplo, identificando e selecionando pesquisas disponíveis relevantes (KITCHENHAM *et al.*, 2012), sendo um bom ponto de partida para pesquisas (BUDGEN *et al.*, 2008).

Quando realizado de modo aprofundado e completo, o MS engloba três principais fases: Planejamento, Condução e Publicação dos Resultados (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007).

Todo o protocolo do MS se encontra descrito no Apêndice A, seguido do Apêndice B que apresenta o Quadro com o resultado final: os títulos e seus respectivos autores, fonte, local e ano de publicação. O MS forneceu vinte e um artigos científicos dos quais, após leitura de título e resumo, dez foram eliminados, realizando-se a leitura completa dos onze restantes, em que quatro foram descartados, por não possuírem forte aderência com o tema da pesquisa, restando sete.

Além dos sete artigos do MS, foram utilizados para revisão e construção do referencial teórico deste trabalho outros materiais importantes, como o clássico livro, em sua forma impressa, “Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores”, da editora Bookman, que tem entre seus autores os especialistas no assunto Chuck Eastman e Rafael Sacks, além de Paul Teicholz e Kathleen Liston. Eastman é o autor da referência mais antiga que se tem documentada sobre o conceito que hoje conhecemos como BIM, datada de 1975, e é intitulado no livro como “pai do BIM”. Sacks é o fundador do Laboratório de BIM no *Israel National Building Research*; já Liston esteve envolvida na comercialização da tecnologia em uma *startup* de *softwares*, e Teicholz é o principal defensor da *Virtual Design and Construction*, considerada uma abordagem de ponta na automação BIM. O livro foi revisado pelo Professor Doutor da Universidade de São Paulo – USP, Eduardo Toledo, coordenador do GT Componentes BIM da Comissão Especial de Estudos sobre BIM (CEE-134 da ABNT), além de ser reconhecido por orientar muitos trabalhos acadêmicos nessa área.

Foram buscadas também as Normas Técnicas vigentes, no entanto, nem todas foram acessadas devido ao caráter privado e devidos custos de obtenção.

3.3.1.1 Estado da arte em compatibilização de projetos com uso da metodologia BIM

A realização do mapeamento sistemático corroborou o aumento da relevância do tema, principalmente se tratando de BIM, visto que, somente na plataforma *Web Of Science*, o resultado para publicações que contenham “BIM” ou “*Building Information Modeling*” em seu título, nas categorias “*Engineering Civil*”, “*Construction Building Technology*” e “*Architecture*” nos últimos 20 anos, foi de 3000 (três mil), como ilustram a Tabela 01 e a Figura 10.

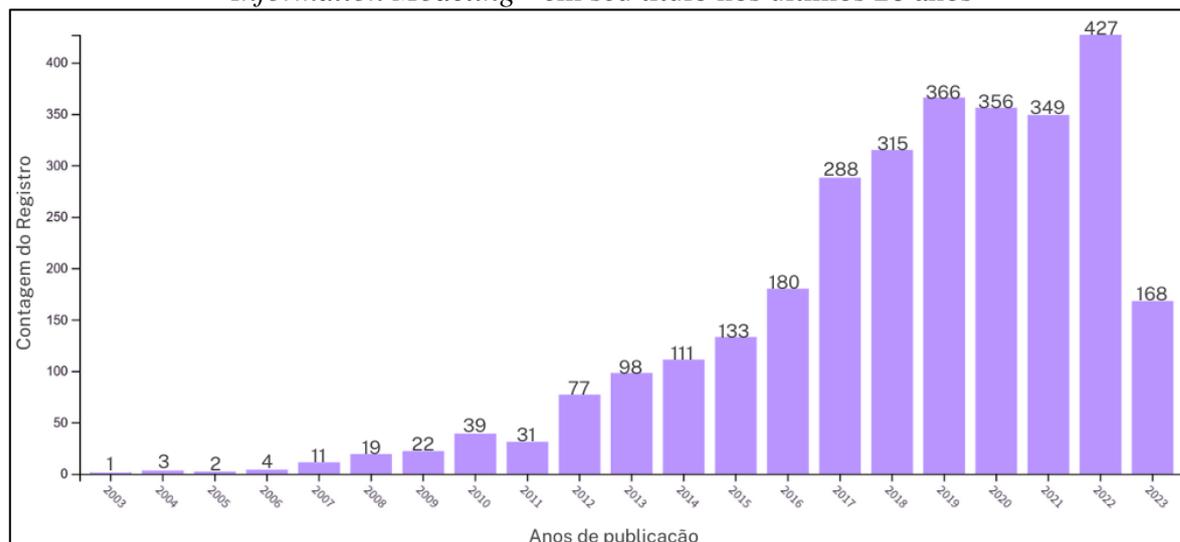
Tabela 01 – Publicações contendo BIM em seu título nos últimos 20 anos

Anos de publicação	Contagem do registro	% de 3.000
2023	168	5,60
2022	427	14,23
2021	349	11,63
2020	356	11,87
2019	366	12,20
2018	315	10,50
2017	288	9,60
2016	180	6,00
2015	133	4,43
2014	111	3,70
2013	98	3,27
2012	77	2,57
2011	31	1,03
2010	39	1,30
2009	22	0,73
2008	19	0,63
2007	11	0,37
2006	4	0,13
2005	2	0,07
2004	3	0,10
2003	1	0,03
TOTAL	3000	100,00

Fonte: Autora (2023)

Note que, dos anos impressos na Tabela, os últimos 5 anos detém mais de 60% das publicações. Dessa forma, o gráfico da figura apresenta uma tendência exponencial, visto que o número de publicações sobe com taxa cada vez mais alta.

Figura 10 – Gráfico da contagem de registro de publicações com “BIM” ou “*Building Information Modeling*” em seu título nos últimos 20 anos



Fonte: Autora (2023)

Por outro lado, percebe-se pelos testes de buscas realizados (Apêndice A) que não há ainda muitas publicações com títulos referentes à compatibilização de projetos e BIM, abordagem que vem aumentando sua relevância e necessidade após os constantes avanços tecnológicos, devido ao potencial que a metodologia possui para facilitar a resolução de incompatibilidades e promover sua prevenção.

Dos artigos filtrados no MS, o mais citado foi o escrito por Czmocho e Pekala (2014), com o título “*Traditional Design versus BIM Based Design*”, e o que mais se aproxima do caráter comparativo de processos de compatibilizações foi o artigo nacional de Maciel, Souza e Oliveira, publicado em 2022, com o título “*Detection Of Design Incompatibilities Between Traditional 2d And Bim Methodology: A Comparative Study*”. A revista “*Buildings*” – revista internacional científica, revisada por pares, de acesso aberto sobre ciência da construção, engenharia de construção e arquitetura publicada mensalmente on-line pela MDPI – junto com o periódico *Procedia Engineering* da editora *Elsevier Science BV* foram os que se destacaram na pesquisa, havendo 3 artigos de cada na amostra.

Quanto às normatizações, no cenário nacional, em 2009, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) criou a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção – ABNT/CEE-134 – a fim de elaborar normas técnicas a respeito de BIM. O primeiro marco nacional sobre BIM foi a ABNT NBR ISO 12006-2 (2010): “Construção de edificação — Organização de informação da construção – Parte 2: Estrutura para classificação de informação”, que foi desenvolvida quando existiam poucas normas internacionais para sistemas de classificação de informações para a construção, no

entanto, a norma recebeu atualização em 2018. Em 2011, a ABNT NBR 15965 (2011), conhecida como a primeira norma BIM no Brasil, foi o primeiro documento da ABNT para BIM, dentre os mais de novecentos documentos sobre construção civil. A norma tem o título geral “Sistema de Classificação da Informação da Construção” e possui sete partes. Atualmente, a ISO 19650-1 (2022): “Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceitos e princípios gerais.” é o que há de mais recente.

Não foram encontradas normas específicas para compatibilização de projetos, apenas normas tratando da representação ou da elaboração de projetos de edificações, como a NBR 6492 (2021), a NBR 16636-1 (2017) e a NBR 16636-2 (2017). Tratando da interoperabilidade, tem-se a internacional ISO 16739-1 (2018), que define as características do formato IFC para compartilhamento de dados em um processo BIM.

3.3.2 Levantamento de informações

Para realizar o levantamento de informações úteis ao trabalho, pode-se recorrer a uma variedade de dados e de fontes. Nesta etapa, o percurso metodológico predominante foi a análise documental. Foram consideradas também a observação direta e entrevistas semiestruturadas.

De acordo com Ludke e André (1986), a escolha da Análise Documental como método é pertinente quando o acesso às informações é um problema, ou quando o pesquisador possui interesse de estudar o problema a partir da própria expressão dos indivíduos, ou ainda quando há pretensão de ratificar informações adquiridas por outros modos de coleta, como, por exemplo, entrevista, questionário ou observação.

A possibilidade de analisar os documentos, de acordo com Cellard (2008), contribui na revisão do processo de maturação ou evolução não só de pessoas, mas também de conhecimentos e práticas, além de avaliar o estágio da própria geração dos documentos atualmente.

Os documentos analisados foram os arquivos referentes às obras A e B no tocante aos projetos. O *download* dos arquivos digitais dos projetos das obras A e B foi feito na plataforma online *Construmanager*, um *software* de gerenciamento de projetos de construção com a premissa de “eliminar a papelada” ao reunir todos os documentos de projetos de forma organizada por estrutura de pastas que facilita o acesso a todos os envolvidos, bem como o controle de disponibilização da versão correta (revisão mais recente) das pranchas. Contratar o *Construmanager* constituiu uma melhoria implementada pela coordenação de projetos em junho de 2022, decisão que solucionou problemas como: necessidade de organização de todos

os projetos em um único lugar, de forma organizada, controlada e acessível à obra, permitindo por exemplo que os engenheiros, mestres de obra ou estagiários confirmem no sistema se a versão de projeto impressa disponível em campo ainda está vigente ou se se tornou obsoleta, pois antes os projetos ficavam acessíveis em nuvem, em uma conta do *OneDrive* não acessível a todos, e ocorria que muitas vezes pranchas desatualizadas eram usadas na obra.

Os relatórios de compatibilização da obra A, bem como atas de reunião para resolver demandas de projetos, se encontram na rede do setor de projetos do local estudado. O orçamento analítico da obra, contendo todos os custos inicialmente previstos para projetos, é fornecido dentro do site da empresa gestora.

A princípio foi feita uma leitura geral dos arquivos para selecionar pontos relevantes ao tema do trabalho e foi criada uma planilha no Microsoft Excel para registro e controle desses dados. Ao passo que um problema associado aos projetos e incompatibilidades foi identificado, o item foi registrado, gerando uma lista de intercorrências com a qual, ao final, é possível analisar aspectos como: a origem, recorrência, custos gerados e recursos empregados para solucionar.

Tratando-se da observação, “a observação é uma estratégia de campo que combina simultaneamente a análise documental, a entrevista de respondentes e informantes, a participação e a observação direta e a introspecção” (DENZIN, 1978).

No entanto, sabe-se que é um método passível de parcialidades, por isso, “para que se torne um instrumento válido e fidedigno de investigação científica, a observação precisa ser antes de tudo controlada e sistemática. Isso implica a existência de um planejamento cuidadoso do trabalho e uma preparação rigorosa do observador” (ANDRÉ; LUDKE, 1986).

Nesse sentido, Bogdan e Biklen (1984) abordam diretrizes norteadoras para a observação, como a descrição das atividades e de eventos especiais, além de reflexões analíticas ou metodológicas. Buscou-se, para este trabalho, realizar anotações de ocorrências que pudessem colaborar nas respostas das questões de pesquisa citadas no Capítulo 1. As observações relevantes foram elencadas em um arquivo para registro e controle.

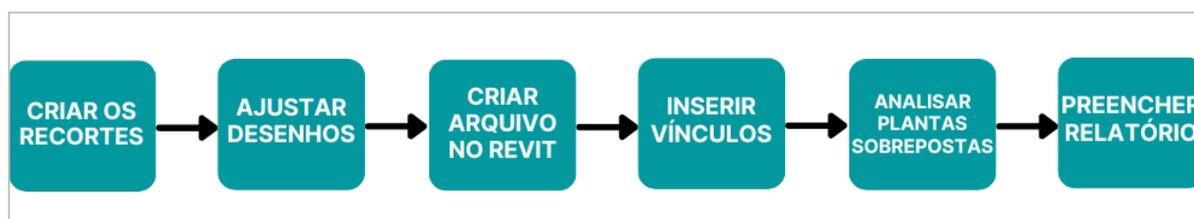
Para a entrevista, esta é um procedimento que possibilita a captação imediata da informação desejada. Este método possui a vantagem de poder atingir informantes que não seriam alcançados por outros meios, como é o caso de pessoas com pouca instrução formal, para as quais a aplicação de formulários ou questionários escritos não seria viável (ANDRÉ; LUDKE, 1986). É o caso da maior parte dos trabalhadores da obra, visto que muitos detêm baixo grau de escolaridade (pedreiros, mestre de obras, encarregados etc.).

Em geral, a entrevista pode ser estruturada, seguindo uma ordem de perguntas, ou semiestruturada, na qual há um roteiro prévio que pode ser flexibilizado durante o momento. Assim, foi escolhida a entrevista semiestruturada, por meio de aplicação de um questionário impresso em papel A4 ao grupo: coordenadores de projetos e arquiteto proprietário da obra, com o objetivo de compreender as dificuldades de implementação do BIM e quais as principais causas da incompatibilidade de projetos na perspectiva de cada um.

3.3.3 Compatibilização tradicional

Para a compatibilização sob o método tradicional, foi elaborado para este trabalho um fluxograma (Figura 11) para ilustrar as etapas do processo, já que os projetos foram compatibilizados na obra sem seguir um protocolo bem definido.

Figura 11 – Fluxograma do processo de compatibilização da Obra A



Fonte: Autora (2023)

A criação de recortes consiste em abrir a pasta dos projetos da obra e criar uma nova pasta nomeada “recortes” para separar os arquivos de desenhos 2D que serão úteis à compatibilização. Abre-se a pasta de cada disciplina e seus arquivos no autocad (formato .dwg) para visualizar de que planta se trata, se a planta for útil, deve-se salvar como uma cópia do arquivo para a pasta de recortes, renomeando a cópia para alguma nomenclatura de fácil entendimento, por exemplo “STR-BL01-PAV2-RECORTE.dwg” para indicar o recorte do projeto estrutural (STR) do Bloco 01 (BL01) no 2º pavimento (PAV2). Para múltiplos pavimentos, cria-se uma cópia para cada piso.

O ajuste dos desenhos envolve abrir cada arquivo e deixar nele apenas a parte desejada do desenho, deletando as linhas do entorno, removendo cotas, hachuras e demais informações que possam ser retiradas deixando a planta mais limpa.

Em seguida, abre-se o programa revit para criar um arquivo de coordenação, no qual é preciso vincular os projetos a serem compatibilizados. Neste caso, foi vinculado o projeto arquitetônico em formato .rvt, e foram vinculados os arquivos das plantas baixas em .dwg dos projetos hidrossanitário e estrutural nas vistas 2D de cada nível (pavimento). A escolha de lançar os arquivos 2D no revit foi para facilitar a visualização da arquitetura em 3D quando

necessário, já que havia posse do arquivo 3D da arquitetura em formato .rvt, no entanto, algumas análises também foram feitas diretamente no autocad. Foi pré-estabelecida uma legenda de cores para cada disciplina, a partir da qual mudou-se a visualização gráfica dos desenhos de cada disciplina para uma cor única. Por exemplo, verde para hidrossanitário e vermelho para estrutural.

Com os vínculos inseridos, foi iniciada a análise das plantas sobrepostas. Ocorreu que muitas vezes as escalas diferiam, sendo necessário abrir novamente o autocad para redimensionar o desenho e atualizar os vínculos no revit.

As análises foram feitas por pavimento, juntando as três disciplinas. Ao passo que ia se encontrando uma incompatibilidade, colocava-se um símbolo existente de CLASH sobre a vista e era anotada a descrição do problema. Ao fim da análise, abria-se uma cópia do arquivo .docx modelo de relatório de compatibilização, salvando o mesmo na pasta de relatórios.

3.3.4 Compatibilização usando BIM

O desdobramento da questão geral da pesquisa, bem como do objetivo específico “a”, foi feito através da atividade de compatibilizar os projetos da Obra B usando BIM. A trajetória desta etapa envolveu:

- a) Escolha de *software*: fez-se relevante iniciar pesquisando quais os programas de interface BIM mais utilizados para compatibilização. Os critérios iniciais de busca para escolha foram possuir acesso gratuito ou licença estudantil liberada, além de avaliação de usuários experientes;
- b) Sobreposição e detecção de interferências: foi escolhido o modelo de informações da construção de três disciplinas (arquitetônico, estrutural e hidrossanitário), em seguida foi feita a sobreposição e a análise dos conflitos;
- c) Relatório de compatibilização: arquivo simples para inserção dos dados fundamentais como a incompatibilidade identificada, as disciplinas envolvidas, se é algo simples de resolver ou requer revisão de algum projeto.

3.3.4.1 Escolha de software para compatibilização

Existem ferramentas específicas no mercado para a análise e compatibilização de projetos no contexto BIM. Dentre os softwares disponíveis mais conhecidos e utilizados no Brasil, é possível destacar 3: o *Autodesk Navisworks Manage*, o *Solibri Model Lite* e o *Trimble Connect* (uma evolução do *Tekla BIMsight*). Pesquisas nos sites e guias oficiais das ferramentas, avaliações de usuários em páginas de empresas e fóruns, além de tutoriais e críticas

disponíveis no *youtube* foram considerados para esta avaliação, com as principais informações sintetizadas no Quadro 06. Os custos foram obtidos pelos sites oficiais e orçamentos por *e-mail*.

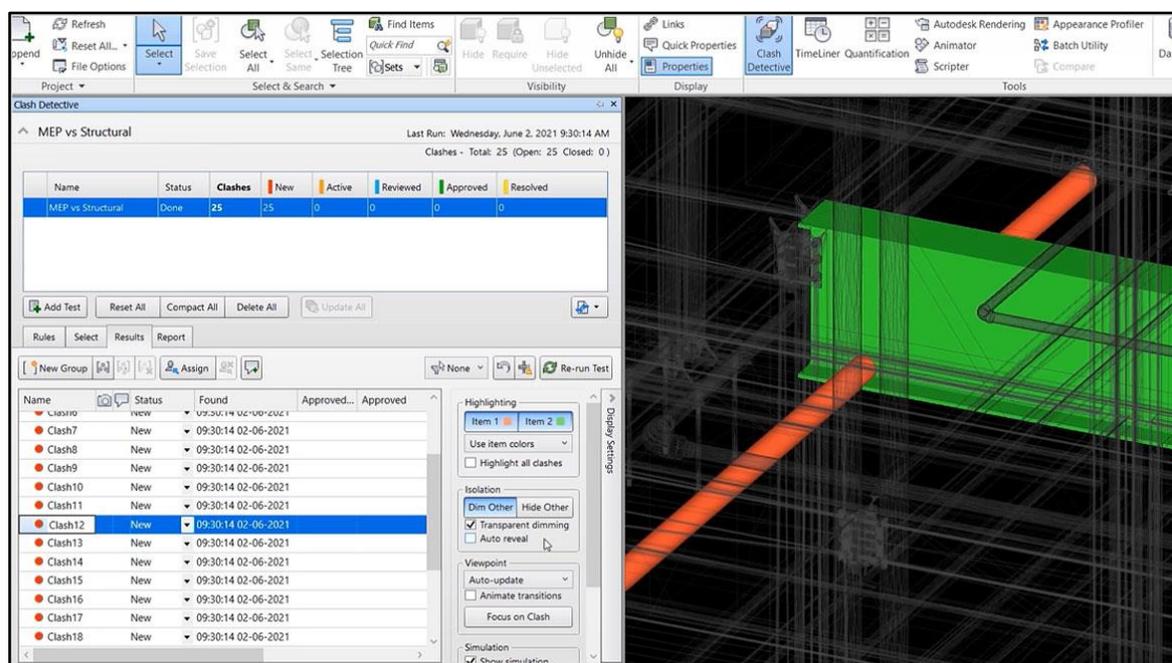
Quadro 06 – Resumo das características das ferramentas mais utilizadas para compatibilizações em junho de 2023

FERRAMENTA	FUNCIONALIDADES	ACESSO	VANTAGENS	DESvantagens
NAVISWORKS MANAGE	<ul style="list-style-type: none"> • Coordenação e detecção de interferências; • Revisão do modelo; • Análise e simulação; • Quantificação; • Integração de problemas com o Autodesk Construction Cloud e o Revit. 	<p><u>Pago:</u> \$ 2.645/ano (equivalente a R\$ 12.827,99)</p> <p><u>Gratuito:</u> Licença estudantil.</p>	Realiza leitura de diversas extensões de arquivos, facilitando a integração de modelos salvos em diferentes programas.	Apresenta um sistema de filtro para verificação do modelo mais simples.
SOLIBRI OFFICE LITE	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação de modelo avançada 	<p><u>Pago Individual:</u> 1870€/ano + impostos, faturado anualmente (equivale a R\$ 9.903,00)</p> <p><u>Pago - Escritório De Médio Porte (1 A 70 Usuários):</u> varia de 2160€ a 3000€/ano por assento.</p>	Software mais apropriado para compatibilizações. Apresenta amplo sistema de filtro ou regras.	Limitações de formatos: Trabalha exclusivamente com IFC e salva em formato .smc.
TRIMBLE CONNECT (EVOLUÇÃO DO TEKLA BIMSIGHT)	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboração baseada em nuvem com compartilhamento de status em tempo real; • Visualização e revisão de modelos; • Possibilita trabalho simultâneo. 	<p><u>Pago Individual:</u> R\$ 1850,00/ano com funcionalidades avançadas via plugins.</p> <p><u>Pacote 5 Licenças:</u> R\$ 3700,00/ano sem limite de espaço e usuários nos projetos.</p> <p><u>Gratuito:</u> Licença para alunos e educadores.</p>	Direcionado ao OPENBIM. Compartilha ou acessa informações por dispositivo móvel, desktop e web. Qualquer pessoa pode visualizar arquivos com um link, sem precisar fazer parte do projeto ou possuir conta no Trimble.	Dificuldade/instabilidade ao atuar com projetos médio e grande porte. Requer boa conexão de internet para uso na versão navegador.

Fonte: Autora (2023)

Em 2015, a ASBEA já citava as duas primeiras ferramentas e o antigo Tekla. Atualmente, nota-se que esses continuam sendo os mais difundidos. Em geral, as três ferramentas são consideradas um bom instrumento de coordenação BIM, possuindo particularidades que configuram vantagens ou desvantagens. O *Navisworks Manage*, além de muito utilizado para compatibilizações, também é indicado para sequenciamento de construção e criação de animações que são úteis para o planejamento de obras, sendo também mais indicado em projetos de infraestrutura, em que geralmente os modelos são baseados em CAD. A visualização do programa (Figura 12), a barra de ferramentas e alguns comandos se assemelham aos de outros programas da Autodesk, o que pode ser positivo para quem está familiarizado com tais programas.

Figura 12 – Imagem da tela do *Navisworks Manage* ilustrando a compatibilização por meio da detecção de *clashes*



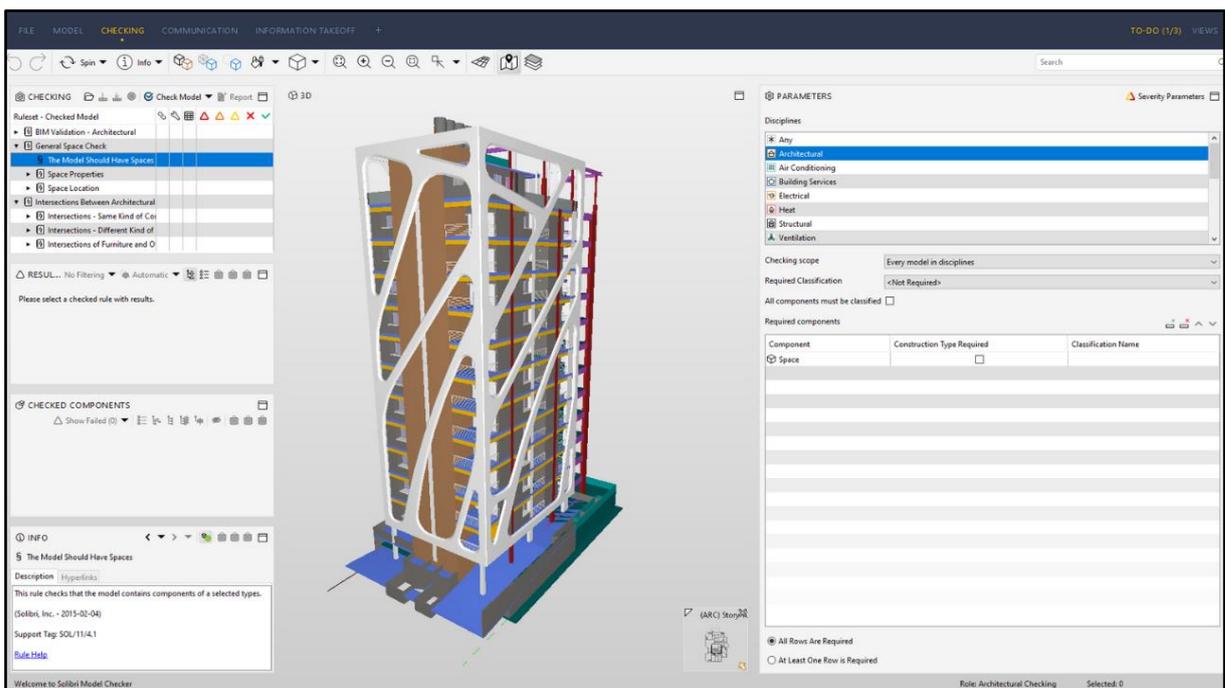
Fonte: Autodesk (2023)

Para além do formato IFC, o software possui a vantagem de ser compatível com vários tipos de arquivo. Como esperado, por ser da Autodesk, o software suporta arquivos de outros programas da Autodesk, como Revit, Inventor, Recap ou 3ds Max, além de suportar arquivos de outros fornecedores populares como Rhino ou Katya. No entanto, para conseguir visualizar todos os elementos ou informações contidas no modelo, é necessário saber configurar bem o programa (LOZINSKI, 2022). Na exportação, abrange formatos como .fbx e .kml (formato comum para compartilhamento de dados geográficos), já o relatório de compatibilização gerado

automaticamente pelo programa é possível exportar como um arquivo de texto .xml simples ou .html, que é considerado acessível.

Tratando-se do Solibri, este se sobressai na verificação de modelos, sendo mais específico para compatibilizações por se basear em regras pré-definidas e personalizáveis que flexibilizam suas ferramentas de análise. Isso possibilita criar diversas condições, podendo gerar *templates* ou utilizar *templates* já prontos, permitindo verificar desde conflitos básicos até necessidades específicas, como verificação de requisitos BIM, regulamentos nacionais ou códigos específicos de construção. Sabe-se também que o software possui boa velocidade de carregamento e é bastante dinâmico, de boa visualização, como exibe a Figura 13.

Figura 13 – Imagem da tela do Solibri



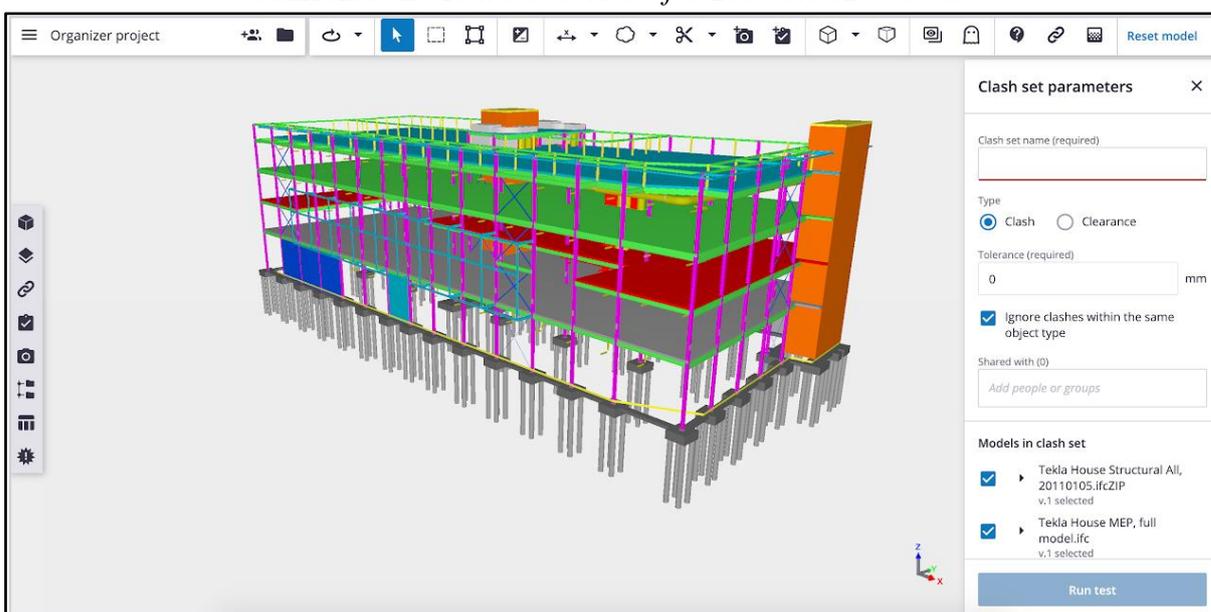
Fonte: Solibri (2019)

Apesar de abrir arquivos como .dwg e .pdf, não abre de outros programas populares como o .rvt ou .pln do Archicad, ou seja, para realizar a verificação de um modelo de Revit no Solibri, é necessário primeiro exportar para formato IFC. No geral, o software funciona bem para IFCs. Na geração automática do relatório de compatibilização, algo positivo é que o Solibri tem visado trabalhar com formatos *openBIM* (tendência de formatos abertos para colaboração), salvando o relatório em BCF (*BIM Collaboration Format*, que significa formato de colaboração BIM aberto), além de .pdf ou .rdf e planilhas compatíveis com Excel. Ademais, o software tem passado por melhorias constantes, tendo recebido várias atualizações já em 2023.

Investigando, por fim, o Trimble Connect, este é um instrumento da Trimble, empresa de tecnologia industrial, com sede em Westminster, Colorado, EUA, que propõe soluções nos ramos de construção, geoespacial, transporte e agricultura. É a mesma empresa proprietária dos softwares *Sketchup* e *Tekla Structure*.

O *Trimble Connect*, assim como o *Navisworks Manage*, é útil para coordenação como um todo, mas se sobressai na possibilidade de integração e trabalho simultâneo, em que todos os envolvidos no projeto podem acessar e emitir atualizações em tempo real. A plataforma admite o compartilhamento entre arquivos BIM 3D (Figura 14) de diversos *softwares* bem-sucedidos no mercado, como *Revit*, *Archicad* e *Sketchup*, com visualização de mais de 40 formatos distintos de arquivos, não se restringindo ao formato IFC e sendo conhecido pelo uso em conjunto com o *Sketchup*. Assim como o *Solibri*, o *Timbre Connect* tende para o trabalho *openBIM*, pois permite importar ou exportar arquivos *BCF Zip*.

Figura 14 – Imagem da tela de estabelecimento de parâmetros para criação de um conjunto de confrontos no *Trimble Connect for Browser 3D Viewer*

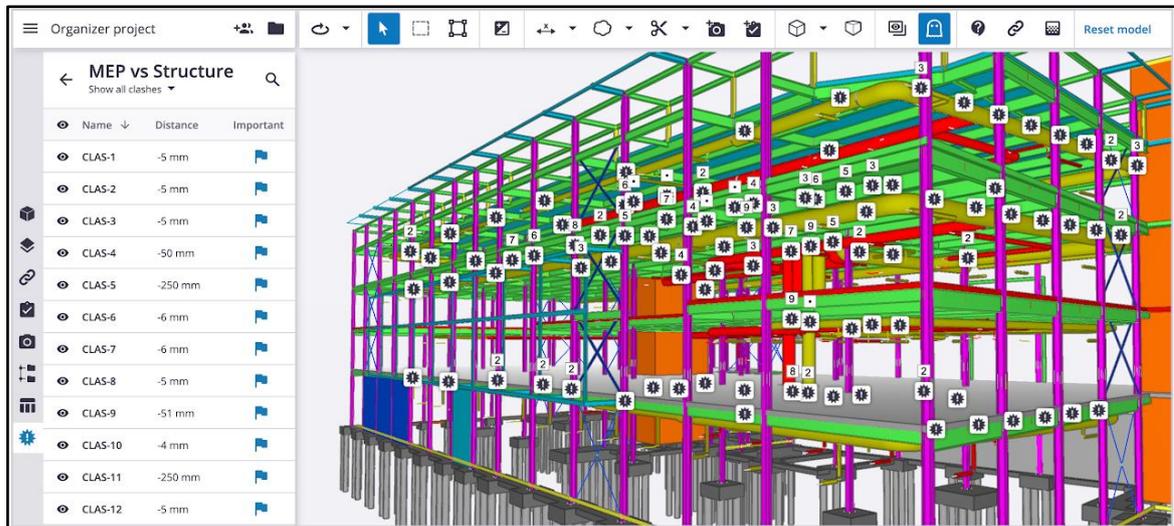


Fonte: Trimble (2022)

A possibilidade de acessar informações por dispositivo móvel, desktop e web é um diferencial, visto que a ferramenta está disponível para web, Windows, mobile e realidade mista. O recurso “Compartilhar Dados” permite que os usuários compartilhem arquivos de um projeto com usuários internos e externos, o que pode ser bastante útil, por exemplo, em um canteiro de obras, em que os colaboradores que atuam no campo possam acessar a visualização do projeto para sanar dúvidas sem precisar possuir algum tipo de conta, apenas acessando o link disponibilizado em um dispositivo móvel. Por outro lado, usuários relatam dificuldades de uso

na plataforma com projetos de médio porte, por exemplo, ao fazer o teste de compatibilização com projetos de 8 disciplinas em um edifício de uma torre, o software apresentou instabilidade, de acordo com relatos de escritórios de arquitetura.

Figura 15 – Tela de visualização dos resultados de um conjunto de confrontos no *Trimble Connect for Browser 3D Viewer*



Fonte: Trimble (2022)

Em 2021, a Escola Brasileira de BIM (EBBIM) divulgou um comparativo sobre a disponibilidade de alguns recursos entre o *Navisworks Manage* e o *Trimble Connect*, conforme explícito na figura abaixo.

Figura 16 – Comparativo entre recursos - *Navisworks Manage* x *Trimble Connect*

Recurso	Navisworks Manage	Trimble Connect
Armazenamento e transporte automatizado de arquivos	Não	Sim
Gestão de equipes	Não	Sim
Gestão de atividades	Não	Sim
Controle de permissões	Não	Sim
Leitura de documentos comuns (PDF, Word, Excel, PowerPoint)	Não	Sim
Coordenação de projetos em 2D	Sim	Sim
Coordenação de projetos em 3D	Sim	Sim
Revisão	Sim	Sim
Apresentação	Sim	Sim
Deteção de colisões	Sim	Sim
Permite anexar documentos a elementos de modelo 3D	Não	Sim
Uso de nuvens de pontos	Sim	Sim
Extração de quantidades do 2D	Sim	Não
Extração de quantidades do 3D	Sim	Sim
Criação de composições de custo	Sim	Não
Sequenciamento simplificado	Não	Sim
Sequenciamento 4D integrado a editor CPM	Sim	Não
Uso em celulares e tablets	Não	Sim

Fonte: EBBIM (2021)

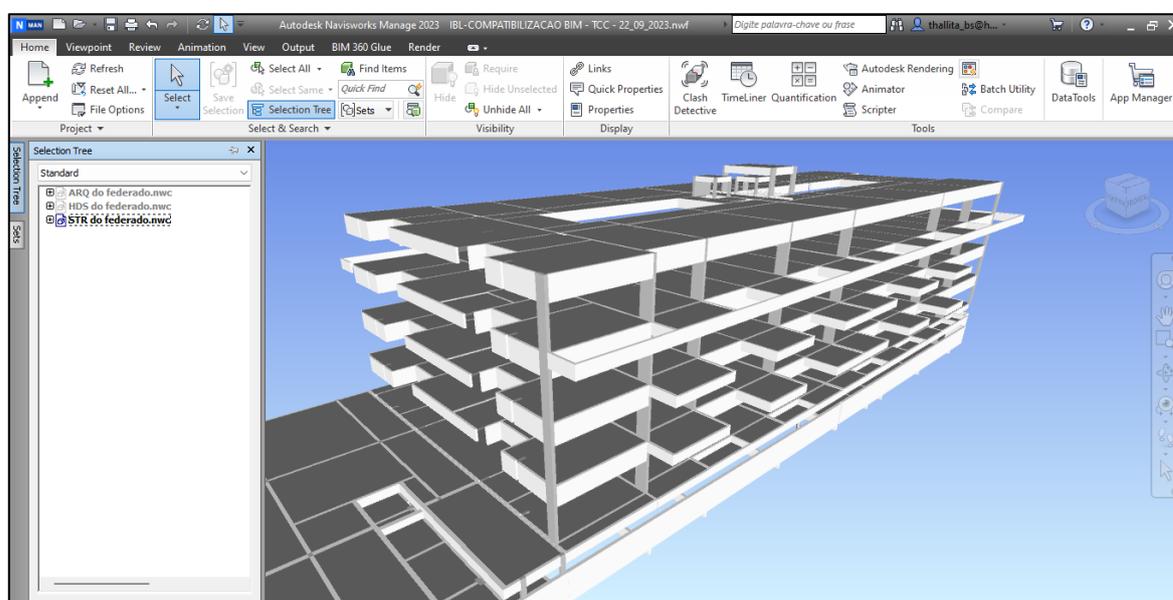
Nesse cenário, considerando o custo para uso das ferramentas, o *Navisworks Manage* e o *Timbre Connect* possuem licença gratuita para estudantes ou educadores, desse modo, embora o Solibri possua melhor desempenho nas compatibilizações por ser ideal para verificações do modelo, o custo da licença tornou sua escolha inviável para este trabalho. Sob outras perspectivas, avaliando os recursos de leitura e salvamento, as possibilidades de trabalho e o tempo necessário para domínio do uso da ferramenta, o software escolhido foi o *Navisworks Manage*, visto que é um instrumento já consolidado no mercado que, por isso, dispõe de uma rede ampla de suporte, tutoriais e cursos acessíveis, e considerando também a familiaridade e licença estudantil ativa da autora para com a Autodesk. Todavia, constatou-se que o *Timbre Connect* se apresenta como uma plataforma inovadora e com grande potencial de ganhar mais espaço no mercado, sendo um competidor em progresso, com poucos cursos disponíveis e baixa adesão no Brasil por ser ainda relativamente novo.

3.3.4.2 Sobreposição e detecção de interferências

Para o método usando BIM, fez-se o uso da verificação automática permitida pelo *Navisworks* com a função *clash detective*, bem como a análise visual e contagem dos conflitos.

A seguir, as Figuras 17, 18 e 19 ilustram os modelos de informações da construção dos projetos estrutural, arquitetônico e hidrossanitário, respectivamente, inseridos no *Navisworks Manage 2023*.

Figura 17 – Projeto estrutural da Obra B



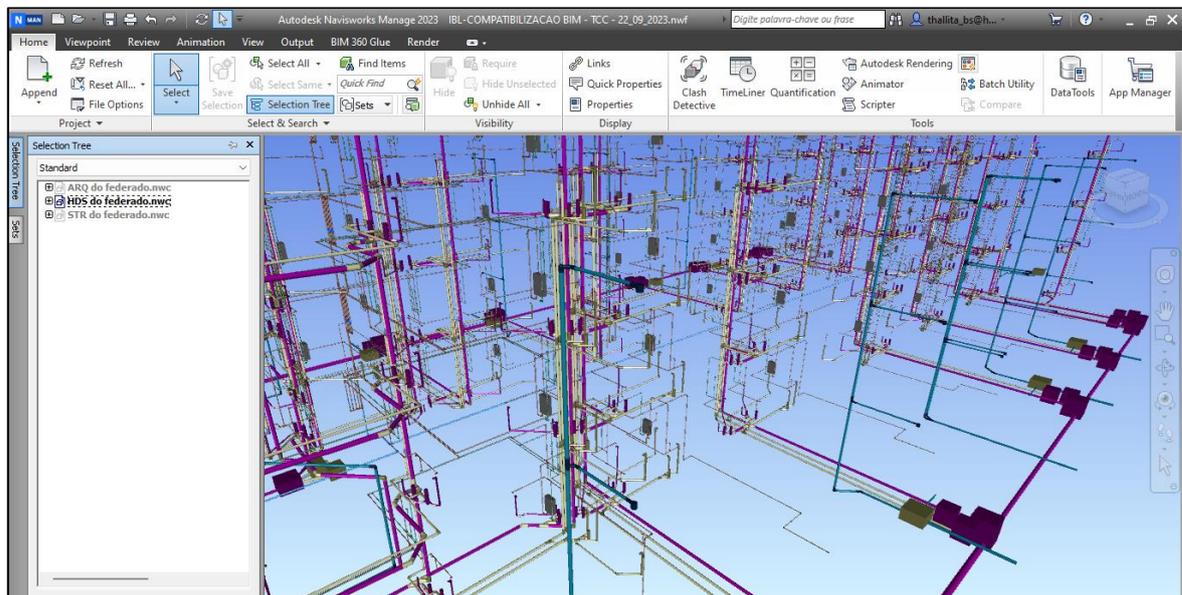
Fonte: Autora (2023)

Figura 18 – Projeto Arquitetônico da Obra B



Fonte: Autora (2023)

Figura 19 – Projeto hidrossanitário da Obra B



Fonte: Autora (2023)

Não foi usada matriz de compatibilização para a análise, o Quadro abaixo dispõe os elementos essencialmente verificados:

Quadro 07 – Elementos verificados nas compatibilizações

Disciplina	Elementos
Arquitetônico	Paredes, Esquadrias, Forros, Telhado.
Estrutural	Pilares, Vigas e Lajes.
Hidrossanitário	Tubulações, Conexões e Dispositivos.

Fonte: Autora (2023)

3.3.5 Organização e análise dos dados

Nesta etapa, os insumos coletados foram filtrados e organizados de modo que viabilizasse sua apresentação, o que ocorreu pela seleção de imagens relevantes, geração de tabelas etc., para iniciar as análises cabíveis.

3.3.6 Resultados e discussões

Nesta fase, será apresentado o resultado da compatibilização da Obra A, e da Obra B usando BIM, fazendo-se a comparação desse processo com o do modo tradicional que havia sido feito na Obra A.

Para as discussões comparativas dos dois processos, foram considerados aspectos como:

- a) Disciplinas e elementos com mais conflitos entre si;
- b) Classificações de conflitos;
- c) Limitações, dificuldades, vantagens ou desvantagens;
- d) Percepção do esforço cognitivo – Observa-se a noção do esforço empregado para ler informações, raciocinar, lembrar e manter a atenção, além do tempo demandado.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os processos da compatibilização da Obra A e da Obra B, respectivamente, acompanhados de suas análises.

De acordo com as entrevistas realizadas, a empresa estudada se encontra no nível 1 de maturidade BIM, com ênfase ao fato da permanência da forma contratual dos projetistas, mantendo-se a aquisição dos projetos em sua forma tradicional. A falta do uso efetivo da metodologia BIM pelos projetistas constitui não só a razão da dificuldade de implementar o BIM na gestão de projetos, mas também a principal causa das incompatibilidades. Os projetos são desenvolvidos individualmente, sem interagir com os demais, realidade que ainda se repete em diversas empresas e origina os conflitos entre projetos, como discorreram Chahrour *et al.* (2021), concluindo que a entrega colaborativa de projetos tem um impacto positivo na produtividade da construção. Tal cenário justifica que a Estratégia BIM BR tenha inserido o incentivo a concorrência no mercado pelos padrões neutros de interoperabilidade como um de seus objetivos.

Tratando-se das dificuldades na implementação do BIM mais especificamente para a compatibilização de projetos, as respostas se concentram na falta de mão de obra qualificada. Embora a empresa tenha iniciado investimentos como a compra de licenças de uso de *softwares* da Autodesk (que é uma barreira comum na implementação do BIM, conforme as evidências de Famadico (2023) dispostas no Quadro 03), a contratação de novos colaboradores que possuam os conhecimentos técnicos necessários vem sendo uma dificuldade. Ou seja, o problema cultural dos projetistas da região que ainda não aderiram à metodologia, junto com a falta de qualificação de mão de obra disponível também na região, são os fatores de destaque no estudo de caso, se sobressaindo ao obstáculo de investimento financeiro, o qual é bastante citado na literatura como uma das razões mais importantes para rejeição do uso do BIM, de acordo com o relatado nas pesquisas de Akhmetzhanova *et al.* (2022).

Das demais causas da incompatibilidade de projetos, é válido ressaltar a recorrência de mudança de projetos, por interferência do escritório de arquitetura, afetando diretamente o fluxo de serviços da obra, atrasando a realização de alguns serviços ou gerando a necessidade de retrabalhos. Um exemplo recente de retrabalho foi a alteração das dimensões das portas das varandas dos 59 apartamentos do bloco D na Obra B, quando o serviço de alvenaria já havia encerrado. A diminuição da largura das portas requereu o retorno do serviço de alvenaria para fechar os vãos e permitir a fixação dos contramarcos. A exemplo também, o Apêndice C apresenta um parecer de compatibilização elaborado pela autora durante o estágio e enviado ao

projetista hidrossanitário informando sobre mudanças no *layout* da arquitetura de um dos ambientes da Obra A, solicitando os ajustes para entrega de uma nova revisão de projeto. Nisto, comprovam-se as afirmações de Barqawi *et al.* (2021) sobre a influência de atrasos ou mudanças de projetos como fomentadores de incompatibilidades e, conseqüentemente, de custos adicionais.

De todos os projetos coordenados na obra, apenas 33% originalmente foram modelados usando a tecnologia BIM, os demais foram entregues em arquivos e desenhos CAD 2D. Alguns modelos na obra, principalmente das instalações hidrossanitárias, foram posteriormente feitos pela própria coordenação de projetos como soluções já propostas para sanar as incompatibilidades, visto que não havia mais tempo disponível para aguardar o projetista realizar as devidas correções.

O Quadro abaixo é um produto da revisão bibliográfica e sintetiza as classificações consideradas nas análises das incompatibilidades, contendo uma descrição de cada classe, com algumas adaptações do encontrado na literatura.

Quadro 08 – Classificações de conflitos e respectivas descrições (continua)

CLASSES DE CONFLITO	DESCRIÇÃO
POR DISCIPLINA	
Arquitetônico x Estrutural	Conflitos entre elementos dos projetos arquitetônico e estrutural.
Arquitetônico x Hidrossanitário	Conflitos entre elementos dos projetos arquitetônico e hidrossanitário.
Estrutural x Hidrossanitário	Conflitos entre elementos dos projetos estrutural e hidrossanitário.
TIPO DE COLISÃO	
Leve	Ocorre na falta de espaço livre necessário e suficiente para um elemento ser instalado.
Pesada	Ocorre na interferência direta entre 2 ou mais componentes físicos.
Tecnológica ou funcional	Ocorre em definição construtiva que não atende às condições existentes (mão de obra e tempo de execução demandados etc.) ou que não atenderá o funcionamento ao longo do tempo.
GRAU DE IMPACTO	
Baixo	Gera impacto mínimo e pode ser facilmente resolvido em campo.
Médio	Gera perda de produtividade ou interrupção dos serviços; leva a médio impacto no custo e cronograma.
Alto	Gera retrabalho; leva a custos excessivos e atrasos no cronograma, precisa de atenção imediata.

Fonte: Adaptado de Chahrour *et al.* (2021); Czmocho *et al.* (2014); Han *et al.* (2007); Riley *et al.* (2005); Staub-French *et al.* (2007); Wang (2014).

Quadro 08 – Classificações de conflitos e respectivas descrições (conclusão)

CLASSES DE CONFLITO	DESCRIÇÃO
ESTÁGIO DE DETECÇÃO	
Ideal	Detectado e resolvido antes do início da instalação;
<i>As built</i>	Detectado após o empreiteiro ter concluído o trabalho, levando o projetista a reconduzir o projeto (<i>as built</i>).
Tardio	Detectado após o empreiteiro ter concluído o trabalho e o cliente precisa esperar os consertos.

Fonte: Adaptado de Chahrour *et al.* (2021); Czmocho *et al.* (2014); Han *et al.* (2007); Riley *et al.* (2005); Staub-French *et al.* (2007); Wang (2014).

4.1 COMPATIBILIZAÇÃO PELO MÉTODO TRADICIONAL – OBRA A

O número de incompatibilidades identificadas foi de 81 conflitos, como mostra a Tabela 02. Das três disciplinas observadas, as duas que mais conflitaram entre si foram arquitetura (ARQ) e instalações hidrossanitárias (HDS), com 39 resultados, seguidos de 26 conflitos entre arquitetura (ARQ) e estrutura (STR), e de 16 conflitos entre instalações hidrossanitárias (HDS) e estrutura (STR). Os principais elementos conflitantes entre si foram forros e tubulações, e dos tipos de colisões encontradas, a maior recorrência é de colisões pesadas, no entanto, as colisões leves também têm resultado representativo, seguidas das colisões tecnológicas ou funcionais. Os resultados, extraídos de 11 relatórios de compatibilização preenchidos com coparticipação da autora, foram organizados e dispostos na Tabela 02.

Tabela 02 – Resultados da compatibilização tradicional na Obra A

Nº do Relatório	Nº de Conflitos	Disciplinas envolvidas	Tipo de Colisão			Grau de Impacto			Estágio de Detecção		
			Leve	Pesada	Tec. ou funcional	Baixo	Médio	Alto	Ideal	As built	Tardio
1/11	15	ARQ x HDS	9	6		13	2		15		
2/11	4	ARQ x STR		4			4		4		
3/11	1	ARQ x STR	1					1	1		
4/11	1	ARQ x STR	1				1		1		
5/11	17	ARQ x HDS	6	10	1	16	1		16	1	
6/11	13	ARQ x STR	1	7	5	5	6	2	11	2	
7/11	4	HDS x STR	1	2	1	2	1	1	4		
8/11	12	HDS x STR	1	10	1	8	1	3	12		
9/11	4	ARQ x STR		2	2	1	1	2	4		
10/11	3	ARQ x STR		3		1	1	1	2		1
11/11	7	ARQ x HDS	5		2	5	2		7		
TOTAIS	81	-	25	44	12	51	20	10	77	3	1

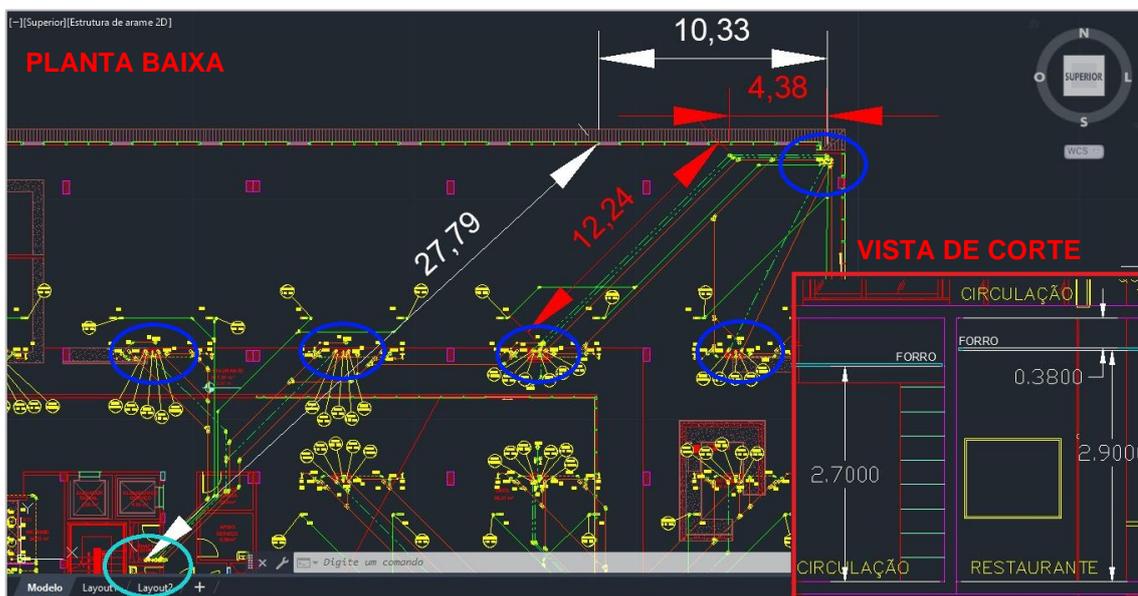
Fonte: Autora (2023)

A maior parte dos conflitos possui baixo grau de impacto, visto que podem ser resolvidos com facilidade e não causariam interferências significativas no custo ou no cronograma da obra (WANG, 2014), no entanto, os 30 conflitos restantes causariam um impacto médio ou alto se não tivessem sido detectados, corroborando com os diversos estudos analisados por Chahrour *et al.* (2021) que apresentaram que o custo do processo de coordenação para compatibilizar compensa o custo evitado na obra devido às incompatibilidades. Embora a obra já estivesse em andamento quando as compatibilizações foram realizadas, 95% dos conflitos foram detectados no estágio considerado ideal para todos os envolvidos na cadeia construtiva (construtor, projetista e clientes ou investidores).

Muitos conflitos significativos foram entre tubulações sanitárias e arquitetura. A necessidade da inclinação das tubulações ao longo de seus trajetos requer uma disponibilidade de altura livre entre a laje e o forro para o funcionamento correto das instalações. Em alguns locais, o projeto arquitetônico determinou uma altura para o forro que tornava esse espaço disponível insuficiente. Para solucionar, seria preciso adotar um forro mais baixo. O local mais crítico discutido em reuniões de coordenação, por exemplo, tratava-se do salão de um restaurante e a altura do pé direito disponível já era considerada baixa. Como as plantas baixas não dispõem de alturas, isso só foi identificado devido à bagagem de conhecimento técnico no momento da análise, ao suspeitar que o espaço disponível entre laje e forro fosse insuficiente.

Na Figura 20, estão sobrepostas no AutoCAD 2019 a planta baixa da arquitetura do térreo, a planta baixa do hidrossanitário do 1º pavimento, e há um recorte do trecho da planta de corte que ilustra as alturas de laje e forro do restaurante mencionado.

Figura 20 – Conflito entre instalações sanitárias e arquitetura

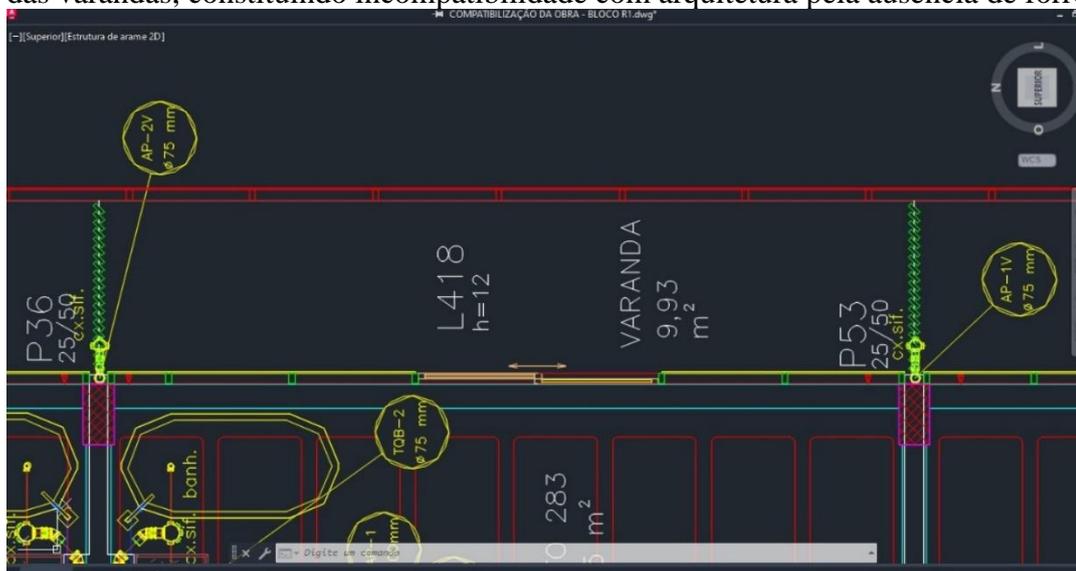


Fonte: Autora (2023)

O local destacado em azul claro aponta o *shaft* previsto pela arquitetura para descida das tubulações que viriam do pavimento superior (pontos de descida de tubos para o entreferro para percorrer até o *shaft* estão destacados em azul escuro). Note, pela vista de corte, que o forro a uma altura de 2,90 metros deixava disponível 0,38 metros (ou 38 centímetros) no entreferro. Do ponto de descida mais crítico das prumadas do pavimento superior, o trecho mais longo teria um total de 38,12 metros (somando-se os 10,33 metros com os 27,79 metros da imagem). Considerando o deslocamento vertical dos tubos atingido pela inclinação mínima de 1%, somado à altura espacial ocupada pelo diâmetro das tubulações de 0,1 metros (ou 100 milímetros), o espaço seria insuficiente. A solução adotada, após resistências da arquitetura, foi a criação de 5 pilares falsos no salão do restaurante, nos 5 pontos das descidas destacadas na Figura 20 em azul escuro. A arquitetura não admitia o rebaixamento do forro, mas precisou adotar os falsos pilares que afetaram na estética e nos vãos livres do salão do restaurante.

Ainda sobre arquitetura e tubulações, destaca-se o caso das varandas do 1º pavimento quem não possuem forro na parte inferior de seu piso (Figura 21). Seguindo o projeto hidrossanitário para a drenagem desses ambientes, as tubulações ficariam expostas pela ausência de forro na laje em balanço, o que era inadmissível pela arquitetura. A solução adotada pela coordenação, foi a criação também de pilares falsos para instalar as prumadas de forma oculta, confeccionados em ACM (*Aluminium Composite Material* – ou alumínio composto, formado por duas chapas de alumínio e uma de polietileno de baixa intensidade em seu interior), como mostra a Figura 22.

Figura 21 – Caixas sifonadas e prumadas de água pluvial (AP-2V e AP-1V) para drenagem das varandas, constituindo incompatibilidade com arquitetura pela ausência de forro



Fonte: Autora (2023)

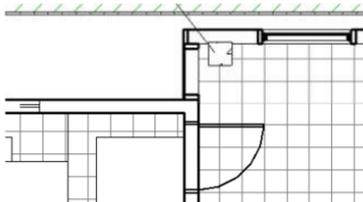
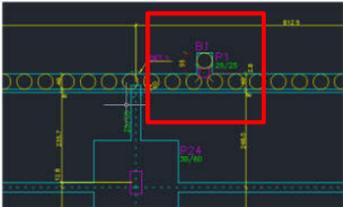
Figura 22 – Solução adotada na Obra A para o conflito da Figura 21



Fonte: Autora (2023)

A segunda maior recorrência de conflitos foi entre arquitetura e estrutura. A Figura 23 é um recorte da ata de uma reunião realizada no início de agosto de 2023, para ajustes a partir de incompatibilidades entre as duas disciplinas para finalizar a execução do bloco. Na ocasião, foram discutidas algumas questões relevantes, por exemplo, o primeiro tópico da pauta que apresenta o pilar P1 sobre cortina de estaca e constitui uma incompatibilidade tecnológica ou funcional no âmbito do projeto estrutural. A carga da superestrutura contida no pilar seria transferida para a cortina de contenção, que já é feita para suportar a pressão do solo e estabilizá-lo, isso aumentaria os esforços e a probabilidade de rompimento da cortina de contenção que não foi dimensionada para receber tais cargas da superestrutura. Além disso, esse pilar não se encontra em local aceitável pelo *layout* arquitetônico, que o espera no canto exato do ambiente.

Figura 23 – Pauta de reunião de coordenação - arquitetura x estruturas

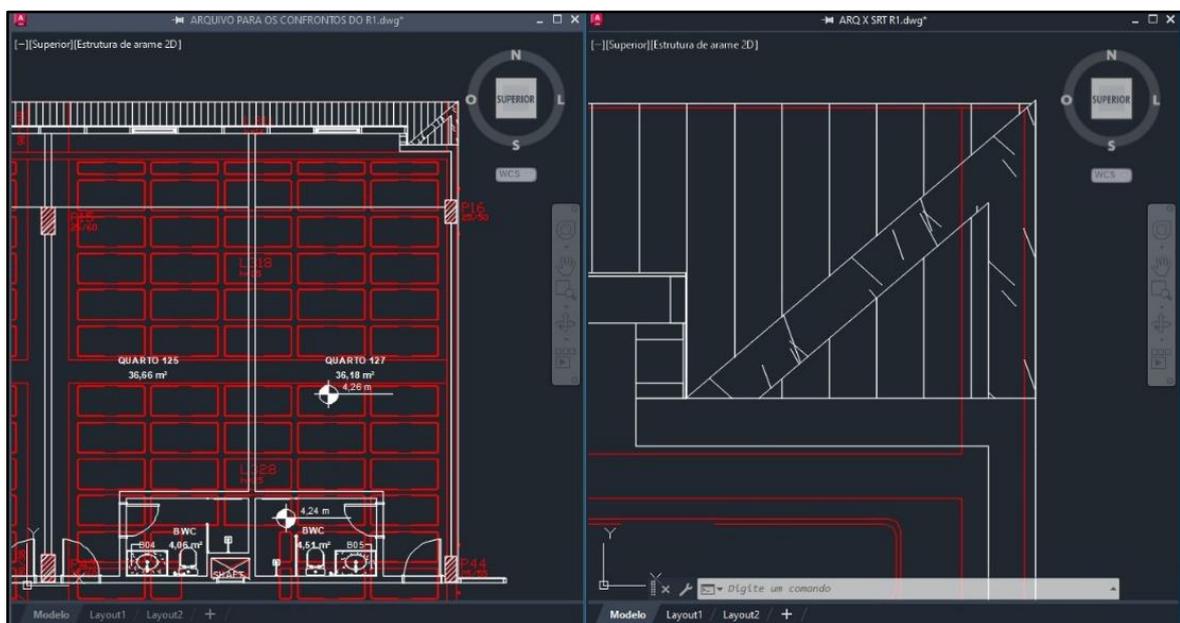
Pautas	
•	P1 – sobre cortina de estaca;
•	Shafts entre apartamentos da extremidade, definição de dimensões;
•	Solução estrutural para molduras da fachada;
•	Dos pontos discutidos surgiram desdobramentos que estão levantados abaixo;
Desenvolvimento/Discussão:	
1. SOBRE O PILAR P1:	
•	Este pilar P1 encontra-se dessa forma ao analisado junto com a arquitetura;
 <p>P1 – ARQ x EST</p>	 <p>P1 - ESTRUTURA</p>
•	A espera desse pilar já esta executada na obra de acordo com o projeto estrutural;

Fonte: Coordenação de projetos das obras A e B (2023)

Embora a obra já estivesse em andamento, essa incompatibilidade foi identificada ainda no estágio ideal prévio, já que o pilar ainda não havia sido executado. No entanto, possui um grau de impacto médio pelo atraso de execução, pois o pilar não pode ser simplesmente realocado na obra, necessita de respaldo técnico do projetista estrutural.

Na Figura 24, pode ser visto o terceiro item da pauta, o formato das vigas não condiz com o esperado para os detalhes da fachada determinados pela arquitetura.

Figura 24 – Incompatibilidade entre estrutura e arquitetura na fachada

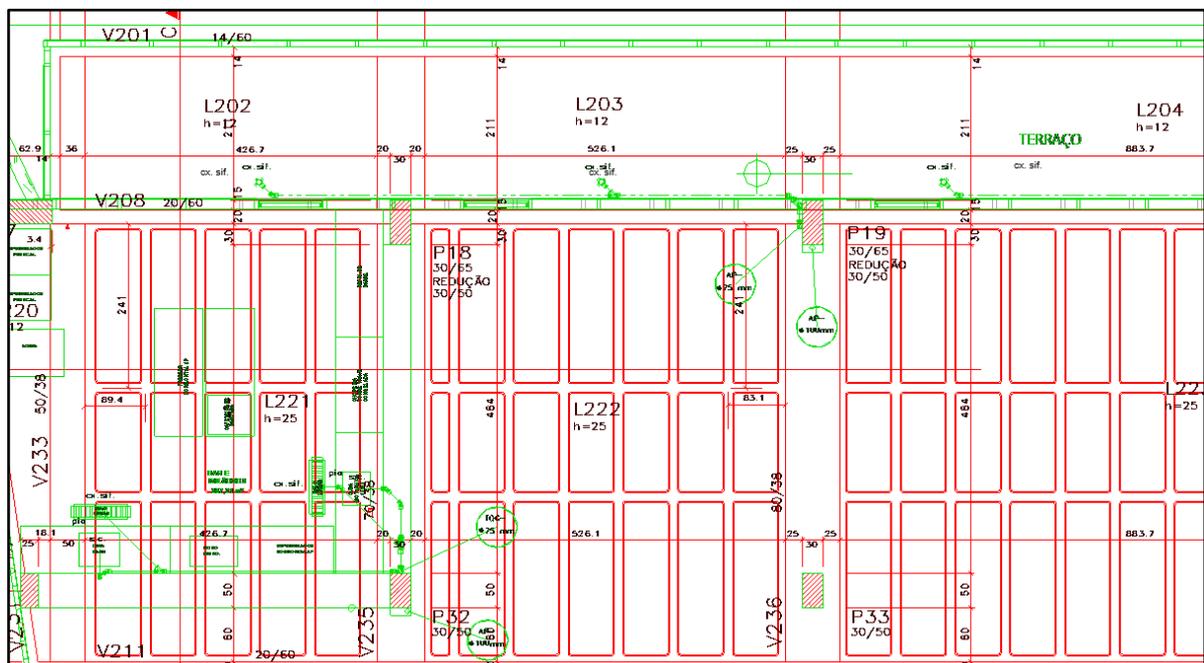


Fonte: Autora (2023)

Na imagem, as linhas vermelhas são da estrutura e as linhas brancas da arquitetura. Note que a arquitetura propõe para a fachada um formato que em planta é triangular, mas a viga da fachada está retangular, sem o acabamento inclinado para condizer com a arquitetura. Só é possível detectar esse tipo de conflito se estiver de posse das informações de detalhes, as quais se encontram em desenhos de detalhamentos de arquivos distintos.

Tratando-se das interferências entre estrutura e instalações hidrossanitárias, 25% das detecções foram de alto grau de impacto, pelo seu potencial de atrasar o cronograma de obra e gerar maiores custos. A Figura 25 dispõe de um conflito que seria facilmente detectado pela interferência direta entre dois componentes físicos em uma compatibilização de modelos BIM, devido ao choque espacial dos elementos do modelo. No entanto, para a análise 2D, principalmente não dispondo de cortes dos projetos das duas disciplinas confrontadas no bloco destacado, é preciso atenção dobrada para constatar a incompatibilidade.

Figura 25 – Incompatibilidade entre instalações hidrossanitárias e estrutura



Fonte: Autora (2023)

Na imagem, o projeto hidrossanitário está destacado na cor verde e o projeto estrutural na cor vermelha. A viga 208 (V208) da fachada possui 20 centímetros de largura e 60 centímetros de altura. A viga 201 (V201) na borda da laje do terraço/varanda também possui 60 centímetros de altura, o que implica a existência de forro pela arquitetura na base dessas duas vigas. As caixas sifonadas e o encaminhamento de suas tubulações para a prumada possuem choques na imagem de duas formas. Primeiro, pela existência das vigas-faixa V235, V236 (que não devem ser perfuradas) e outras não exibidas na imagem, as quais possuem 80cm

de largura e 38cm de altura, a altura entreferro disponível é de apenas 22cm, que inviabiliza o encaminhamento proposto pelo projetista hidrossanitário, devido à necessidade de inclinação dos tubos ao longo do percurso. Posteriormente, tem-se também a colisão direta das tubulações com a viga V208 na mudança de sentido dos tubos em direção às prumadas. Para sanar os conflitos, foi necessário o ajuste do projeto hidrossanitário de modo que atendesse à altura entreferro disponível e à permanência das vigas-faixa, indispensáveis para a estrutura na configuração arquitetônica concebida para a edificação.

Das dificuldades de análise no método tradicional em desenhos 2D, a principal limitação esteve na interpretação da representação gráfica. A depender do desenho, o entendimento é limitado a quem conhece determinadas simbologias e representações, ou ainda a quem detém noções gerais ou conhecimentos de funcionamento de elementos específicos das diversas disciplinas de projeto.

No tocante às características listadas por Ferreira e Santos (2007), descritas no Quadro 03, a omissão foi a mais sentida no processo. Por exemplo, a falta de cortes e isométricos no projeto hidrossanitário (.dwg) da Obra A, dificultou analisar questões de altura com outros projetos na busca pelos conflitos. Isto torna o processo de compatibilização mais suscetível a falhas. Essas omissões demandaram ainda a modelagem do projeto para disponibilizá-lo à obra. O simbolismo, bem como a simplificação, também foi recorrente nos projetos disponibilizados. A variedade nas escalas dos projetos, por exemplo, interrompeu o fluxo do processo em alguns momentos para fazer reajustes. Pelas omissões, diversas vezes foi necessário interromper o processo para ir em busca de outras informações contatando a equipe de projetos, ou para realizar modelagens em Revit para simulações.

Além disso, a quantidade considerável de tempo e atenção dedicada ao processo configuram pontos negativos para o processo de compatibilização por este método. Vários dias de trabalho foram necessários até concluir as análises dos desenhos de todos os pavimentos em todas as disciplinas confrontadas. Durante os expedientes, foram necessárias algumas pausas na atividade de compatibilizar, devido à sensação de cansaço mental e visual após contínuas horas olhando para a tela do computador realizando grande esforço cognitivo para identificar e interpretar as muitas linhas dos desenhos sobrepostos cruzando entre si. A necessidade de correlacionar informações representadas em vistas diferentes aumenta o esforço cognitivo (FERREIRA; SANTOS, 2007). Percebe-se que telas de computador maiores melhoram esse problema, pois inicialmente as compatibilizações foram feitas utilizando um computador com tela de 15,6”, posteriormente substituída por uma tela de 29”, o que tornou a realização do processo mais agradável com uma sensação de análise menos cansativa.

Por outro lado, o benefício de se utilizar o método tradicional é visto na familiaridade do mercado com as ferramentas CAD 2D, conhecidas pela maioria dos profissionais da indústria da AEC, um cenário que dispõe de mão de obra capacitada comumente disponível para contratação.

4.2 COMPATIBILIZAÇÃO UTILIZANDO BIM – OBRA B

A partir do uso dos testes de detecção de conflitos do Navisworks *Manage* 2023, pela ferramenta “*Clash Detective*” que localiza e reporta interferências de acordo com as configurações pré-determinadas, o número de incompatibilidades encontradas foi 3321 (três mil e trezentos e vinte e um). A maior recorrência de conflitos se deu entre os projetos estrutural e hidrossanitário (STR X HDS), com 3029 *clashes* (o equivalente a 91,21% dos resultados), seguidos de arquitetônico e hidrossanitário (ARQ X HDS) com 200 *clashes*, e de arquitetônico e estrutural (ARQ X STR) com 92 *clashes*, como apresenta a Figura 26, que é um recorte da janela do *Clash Detective*.

Figura 26 – Resultado geral dos testes de compatibilização

Name	Status	Clashes	New	Active	Reviewed	Approved	Resolved
1- ARQ X STR	Done	92	0	92	0	0	0
2- ARQ X HDS	Done	200	0	200	0	0	0
3- STR X HDS	Done	3029	0	3029	0	0	0

Fonte: Autora (2023)

Aplicando-se as classificações descritas no Quadro 08 e sintetizando estas como na Tabela 02 para a Obra A, gerou-se a Tabela 03 para a Obra B, mostrando que todas as colisões foram do tipo pesada, e que a maioria dos conflitos foram de grau de impacto baixo. No entanto, 289 *clashes* apresentaram potencial de gerar médio grau de impacto, podendo acarretar custos não previstos e atrasar o cronograma de serviços da obra. Quanto ao estágio de detecção, para 59 dos *clashes* encontrados já havia sido feita uma solução em obra, visto que a não disponibilização em campo do projeto estava estagnando os serviços de revestimento cimentício (contrapiso e reboco), e 4 foram detectados de modo tardio, gerando um atraso significativo com potencial de atrasar a entrega final ao cliente. Apesar disso, os detectados em

estágio ideal representam 98,10% do total, confirmando o processo de compatibilização prévia como positivo.

Tabela 03 – Resultados da compatibilização com BIM na Obra B

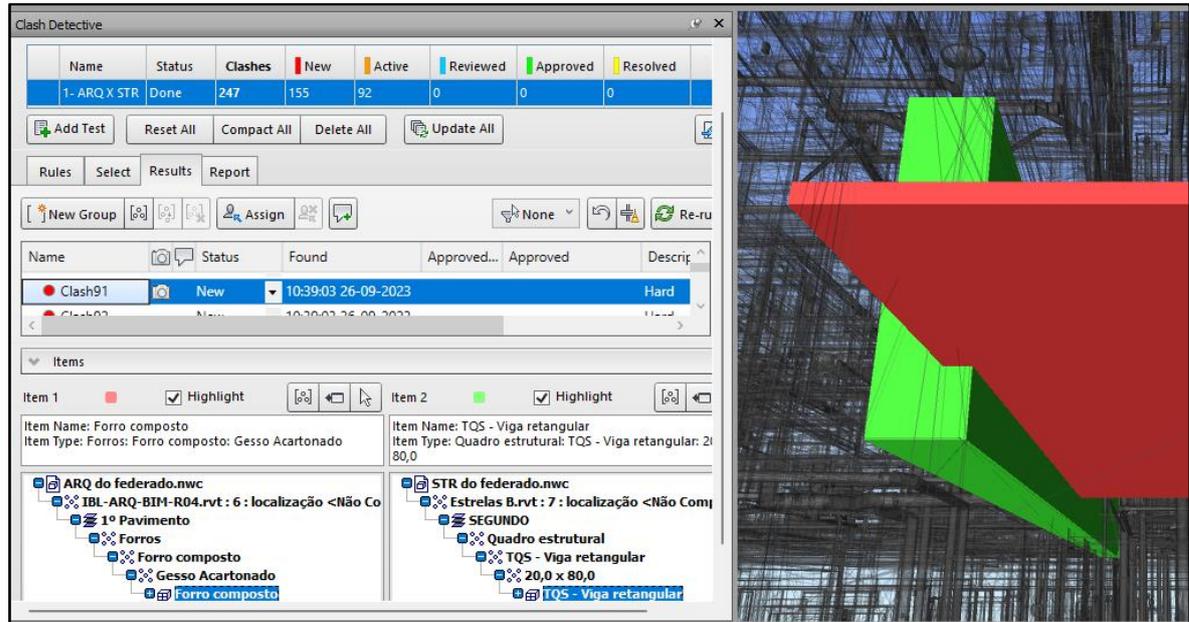
Nº do Relatório	Nº de Conflitos	Disciplinas envolvidas	Tipo de Colisão			Grau de Impacto			Estágio de Detecção		
			Leve	Pesada	Tec. ou funcional	Baixo	Médio	Alto	Ideal	As built	Tardio
1	92	ARQ X STR		92		88		4	88		4
2	200	ARQ X HDS		200		152	48		200		
3	3029	STR X HDS		3029		2788	241		2970	59	
TOTAIS	3321	-	0	3321	0	3028	289	4	3258	59	4

Fonte: Autora (2023)

Para analisar os testes, foi necessário primeiro realizar testes iniciais de análises gerais, a fim de estabelecer regras de uma detecção estratégica, selecionando os elementos mais prováveis de conflitar entre si (como esquadrias e pilares no ARQ X STR) e removendo os que provavelmente gerariam resultados falsos-positivos (como paredes e vigas também no ARQ X STR). Realizar os testes selecionando os projetos inseridos como um todo, gera um resultado de milhares de clashes em que, para analisar um a um seria um processo exaustivo, contradizendo o intuito do BIM para compatibilização, que precisa torná-la um processo não só assertivo, mas também ágil. Com isto, notou-se que sem configuração prévia estratégica, há muitos resultados repetitivos (como para os vários pavimentos-tipo) ou muitos resultados falso-positivo, isto é, o teste de detecção resulta uma interferência por encontrar um choque na geometria de 2 elementos no modelo que, no entanto, não constituem de fato uma incompatibilidade.

A exemplo, a Figura 27 mostra o resultado do teste feito para ARQ X STR incluindo os elementos de forro na detecção, obtendo-se 155 novos *clashes* além dos 92 finais considerados. Os novos resultados se tratavam de problemas de modelagem da arquitetura que considerou o vão dos forros pelo perímetro das paredes e não pelo perímetro das vigas (mais espessas), gerando muitos choques diretos.

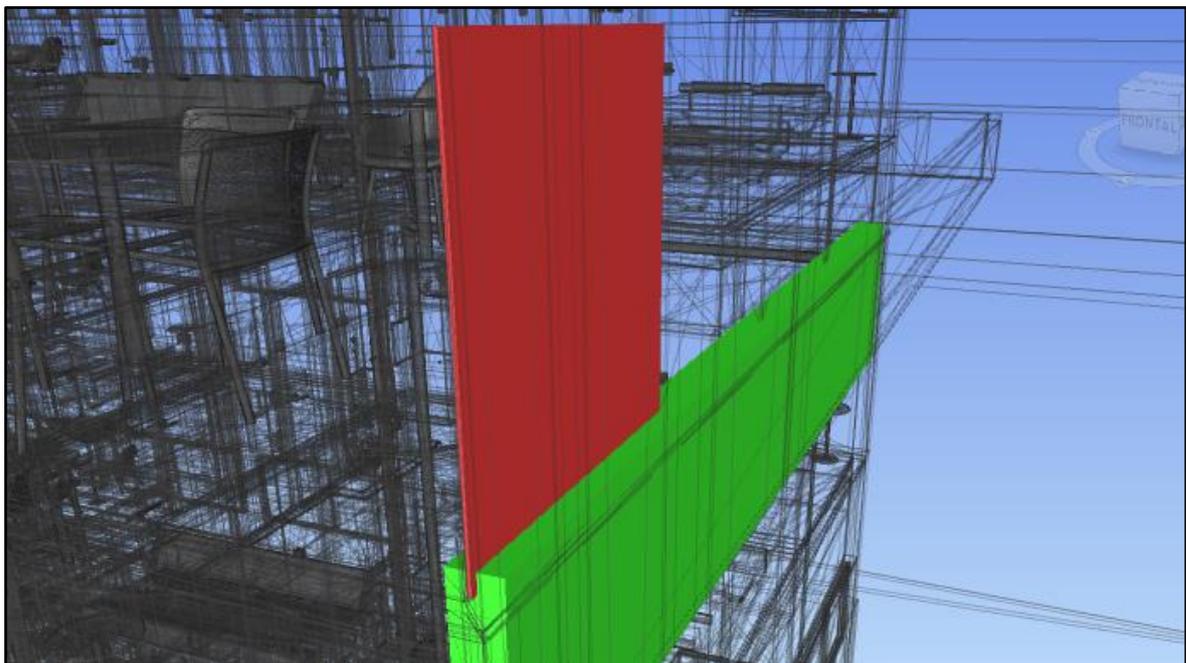
Figura 27 – Resultado considerando forro da arquitetura no confronto com estrutura: falsos-positivos



Fonte: Autora (2023)

A Figura 28 também retrata um falso-positivo recorrente nos resultados, constatando um *clashes* entre as peças de vidro temperado dos guarda corpos na fachada da arquitetura (cor vermelha na imagem) com a viga de borda da varanda sobre a qual o guarda corpo será instalado na obra (cor verde).

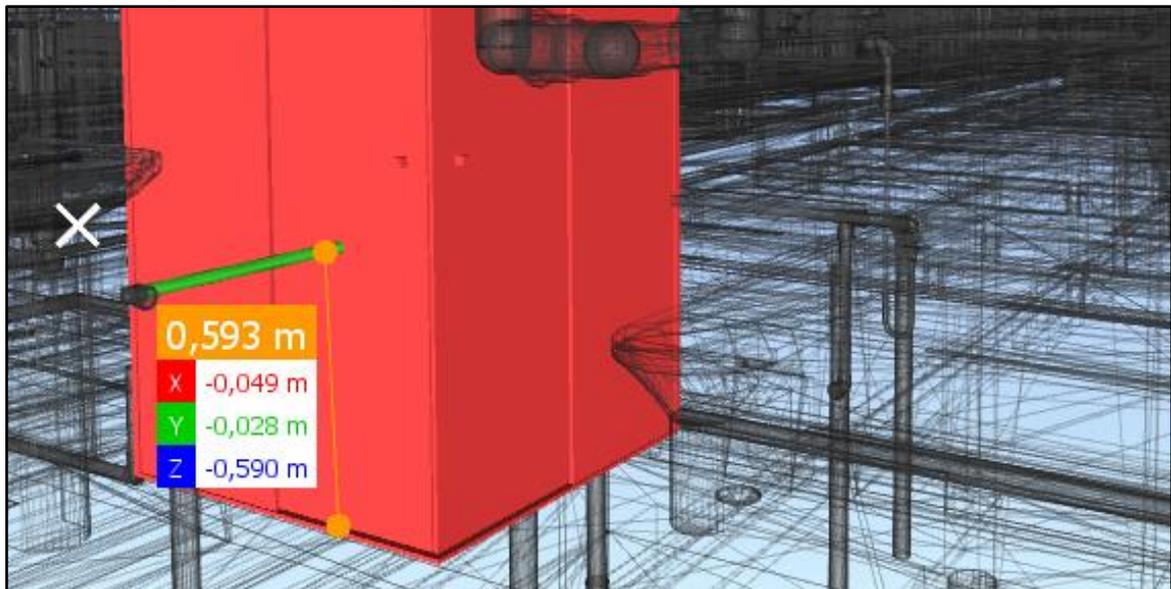
Figura 28 – *Clashes* entre elemento de guarda-corpo e viga: falso-positivo



Fonte: Autora (2023)

Foram constatados no processo alguns choques provenientes de erros claros de modelagem. Como exemplo, o ilustrado na Figura 29 se refere a uma tubulação de esgoto de lavatório que atravessa o box de vidro temperado no projeto arquitetônico na parte de sua abertura, a uma altura próxima de 0,5 metros.

Figura 29 – *Clashe* proveniente de erro de modelagem (ARQ X HDS)

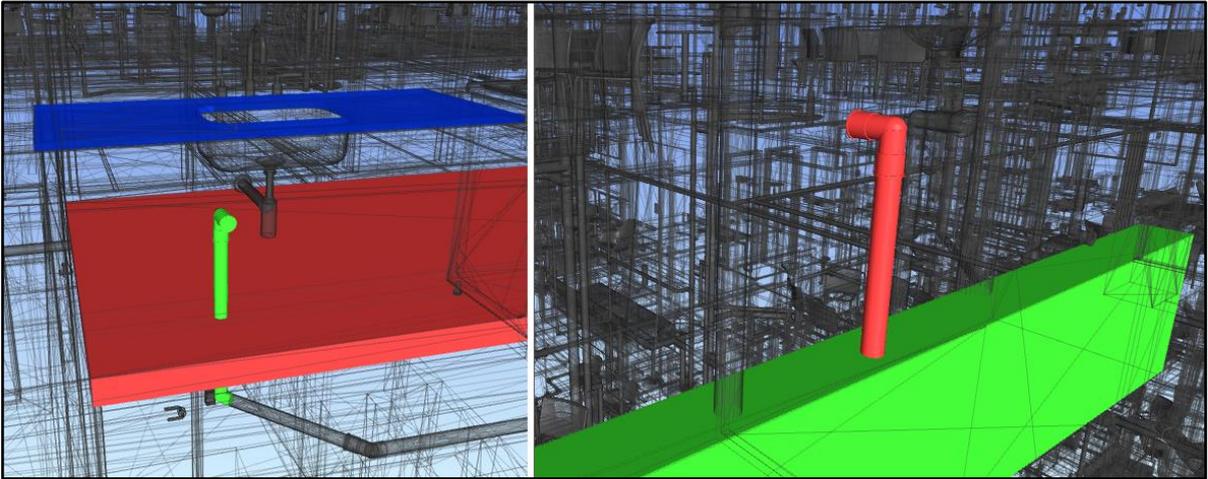


Fonte: Autora (2023)

No tocante aos confrontos entre os projetos estrutural e hidrossanitário, cujos resultados ultrapassam 91% dos resultados gerais, observa-se que a maioria dos confrontos se dá pela não previsão de furos nas peças estruturais para passagem de tubulações hidrossanitárias, o que é um ponto de atenção na hora de análise e marcação dos furos devido à possibilidade de comprometimento da resistência da peça estrutural se furada sem consentimento do calculista estrutural. Nota-se também que algumas determinações do hidrossanitário são de fato inviáveis de executar na obra, precisando-se, portanto, de alterações no projeto.

A Figura 30 contempla exemplos dessas duas constatações. À esquerda, tubo supostamente conflitando com a laje (furo não previsto), à direita, tubulação de esgoto que realiza a coleta do lavatório pela parede precisaria atravessar uma viga – tecnicamente inviável.

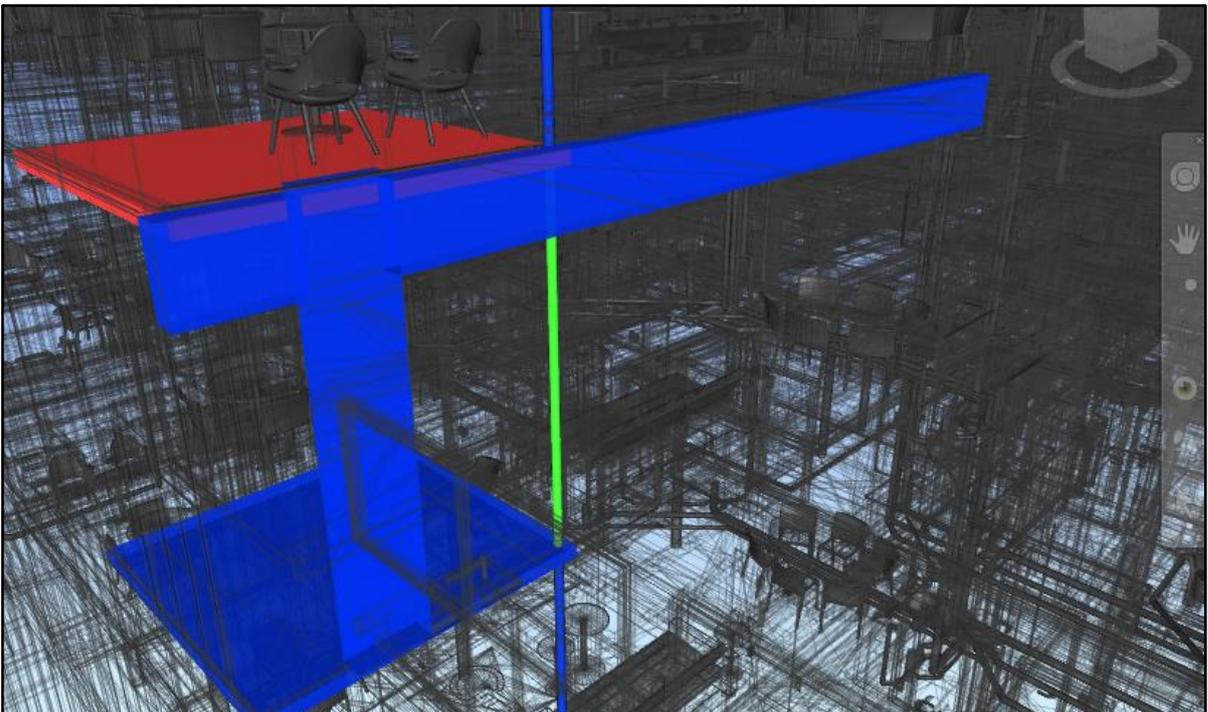
Figura 30 – *Clashes* entre os projetos estrutural e hidrossanitário



Fonte: Autora (2023)

A próxima imagem aborda um *clash* entre laje (cor vermelha) e prumada de águas pluviais em um tubo de 100 milímetros de diâmetro (cor verde) no 1º pavimento. Selecionados na cor azul acima e abaixo do tubo verde, o tubo segue nos pavimentos superior e inferior sendo um conflito que se repetirá. Note que na imagem está selecionada uma viga, a qual a prumada nesta posição precisaria atravessar. Essa configuração de viga se repete nos demais pavimentos, constatando-se assim a locação dessa prumada como totalmente inviável, fazendo-se necessário alterar o encaminhamento das prumadas para outro local apropriado.

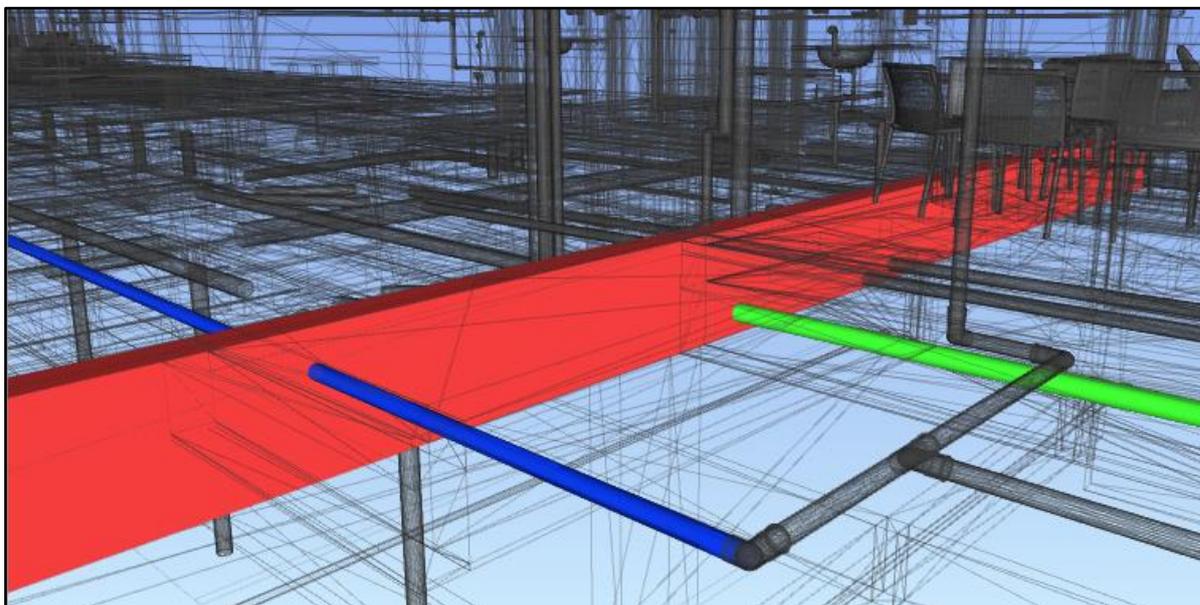
Figura 31 – Conflitos entre os projetos estrutural e hidrossanitário



Fonte: Autora (2023)

Entre os demais conflitos, predomina a frequência dos clashes entre vigas e tubulações, como na Figura 32 (vigas na cor vermelha e tubulações em verde e azul).

Figura 32 – Conflitos entre tubulações e vigas



Fonte: Autora (2023)

Para corrigir o projeto, em alguns trechos bastará alterar um pouco a altura das tubulações, no entanto, em outros trechos, será necessário alterar o trajeto ou contornar os elementos estruturais, de modo que aumentará o número de conexões necessárias, consequentemente elevando os custos de instalação.

Das dificuldades encontradas, o obstáculo inicial foi inserir os arquivos dos projetos para então iniciar a compatibilização, pois houve 4 episódios de lentidão extrema, travamento do computador e fechamento automático dos *softwares* antes de conseguir sintonizar todos os arquivos e gerar o arquivo de compatibilização. Isso comprovou o exposto por Barqawi *et al.* (2021) e Famadico (2023), dentre outros autores, que o uso do BIM requer investimento em bons *hardwares*, pois modelos de computadores com processadores de entrada não permitem um trabalho fluido aos processos de modelagem e compatibilização. Houve mais de uma tentativa de exportação dos modelos 3D dos projetos do Revit 2023 para o Navisworks *Manage* 2023. Para garantir a sobreposição correta dos arquivos, foram todos primeiramente alinhados em um arquivo novo para federação no Revit, inserindo como vínculo os arquivos estruturais e hidrossanitários em .ifc e o arquitetônico em .rvt. O processo foi realizado em um notebook com processador intel core i7 da 11ª geração, com memória de 8GB e disco rígido de 1TB HD + 128GB SSD. Nesse sentido, quando não há condições de investir, o BIM acaba sendo uma limitação. Por essa razão, o custo de implementação bloqueia pequenos escritórios de projetos na adoção do BIM em suas práticas (CZMOCH *et al.*, 2014).

Além da necessidade de uma boa máquina, constata-se que para um processo ágil é necessário que os projetos – ou modelos da informação da construção – de cada disciplina sejam configurados corretamente desde o momento inicial de criação do arquivo de projeto. Isso exige domínio do projetista sobre o funcionamento das ferramentas de modelagem com interface BIM utilizadas, para atribuir as informações e parâmetros corretos a cada item do modelo, facilitando a identificação e separação dos elementos nos momentos de coordenação dos projetos, visto que o aspecto técnico do problema consiste na falta dessas habilidades (BARQAWI *et al.*, 2021).

A principal vantagem experimentada no processo da compatibilização utilizando BIM em relação ao método tradicional foi a velocidade do processo. Para o método tradicional, o tempo não foi computado, mas sabe-se que durou mais de uma semana completa de trabalho para concluir. Para o método usado na Obra B, no entanto, somando-se as horas dedicadas, estimou-se um tempo de 3 dias inteiros de expediente trabalhados para concluir, ou seja, se compararmos 3 dias para 6 dias ou mais (considerando uma semana – dias úteis – somada à no mínimo mais um dia), pode-se afirmar que houve uma economia de pelo menos 50% do tempo empregado no processo de compatibilização.

Além disso, as incompatibilidades puderam ser encontradas com menor esforço de atenção e menor bagagem de conhecimento técnico exigida, devido ao uso predominante das ferramentas automáticas de detecção, o que é positivo devido a correria da rotina em que, se não estivermos com bom foco e concentração e um ambiente confortável, muitos conflitos podem passar despercebidos na análise bidimensional. Na compatibilização tradicional, qualquer tipo de conflito (leve, pesado, tecnológico ou funcional) requer noções técnicas, diferente do método BIM que realiza facilmente a detecção a priori de todos os conflitos do tipo pesado.

Nesse cenário, a visualização da geometria espacial dos elementos do modelo explanou seus aspectos positivos à medida que proporcionou algumas detecções antes mesmo de utilizar a ferramenta automatizada de detecção de choques. As Figuras 33 e 34 exemplificam isso, mostrando conflitos que foram fácil e rapidamente identificados ao observar a vista do modelo federado, sem a utilização do *Clash Detective*.

Figura 35 – Pilares executados



Fonte: Autora (2023)

4.3 SÍNTESE DOS RESULTADOS

A Tabela 04 resume em números os resultados obtidos no tocante à classificação dos conflitos para os dois processos de compatibilização apresentados (tradicional 2D e com BIM).

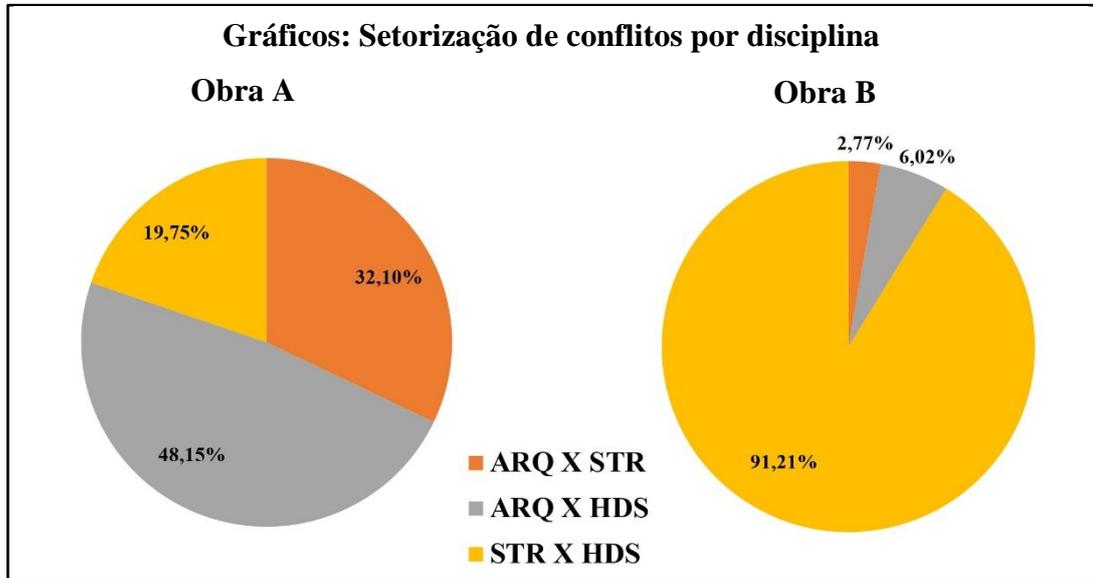
Tabela 04 – Resumo geral dos resultados por classes

CLASSES	Nº DE CONFLITOS	
	2D (81 <i>clashes</i>)	BIM (3321 <i>clashes</i>)
DISCIPLINA		
Arquitetônico x Estrutural	26	92
Arquitetônico x Hidrossanitário	39	200
Estrutural x Hidrossanitário	16	3029
TIPO DE COLISÃO		
Leve	25	0
Pesada	44	3321
Tecnológica ou funcional	12	0
GRAU DE IMPACTO		
Baixo	51	3028
Médio	20	289
Alto	10	4
ESTÁGIO		
Ideal	77	3258
<i>As built</i>	3	59
Tardio	1	4

Fonte: Autora (2023)

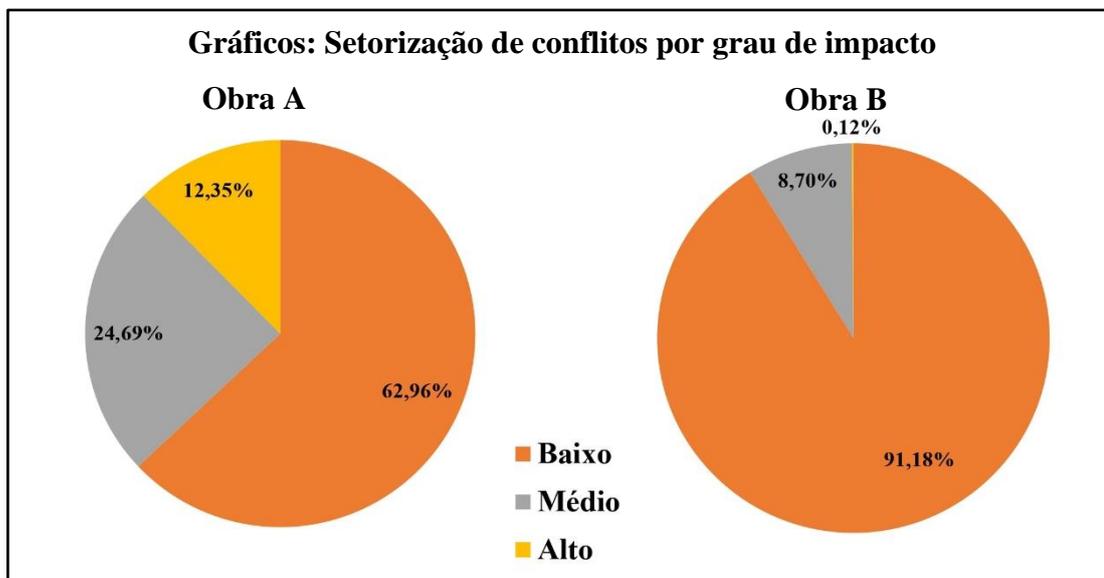
Nos gráficos da Figura seguinte, é possível observar a setorização dos conflitos por disciplinas conflitando entre si.

Figura 36 – Distribuição dos resultados gerais por disciplinas confrontadas



Semelhantemente, a Figura 37 apresenta os resultados gerais pelo grau de impacto que os conflitos detectados têm potencial de gerar.

Figura 37 – Distribuição dos resultados gerais por grau de impacto



Na compatibilização utilizando BIM, o número total de conflitos detectados (3321 *clashes*) equivale a 41 vezes ao encontrado na compatibilização tradicional (81 *clashes*). Tal disparidade se manteve acentuada mesmo após refinar as configurações do *Clash Detective*.

Isso ocorreu principalmente pela criação independente dos três modelos BIM utilizados, desenvolvidos sem padrões pré-estabelecidos, além de erros de modelagem que deram origem a muitos resultados falsos-positivos para a Obra B. Uma solução seria a adoção do *BIM Execution Plan* (BEP), um documento específico para cada contrato ou empreendimento que define diretrizes, critérios e estruturas de trabalho para o desenvolvimento dos projetos em BIM, evitando variações indesejadas em seus modelos.

De acordo com a Figura 36, 91,21% dos resultados foram entre STR X HDS, predominando choques entre vigas e tubulações por causa da não previsão de furos. Nesse sentido, o BEP também poderia eliminar *clashes* ao definir uma ordem lógica a ser seguida. Por exemplo, exigir um projeto auxiliar hidrossanitário da arquitetura entregue junto com seu *layout* de base para o estrutural e o hidrossanitário, permitindo a concretagem das peças estruturais já com os vazios previstos, evitando inclusive um gasto futuro com a execução desses furos.

Outra provável justificativa para a disparidade dos *clashes* está nas limitações da visualização gráfica para a análise tradicional, presumindo que provavelmente outros conflitos existentes não foram identificados na Obra A. Depois de ter o ambiente já preparado (plantas separadas, organizadas em camadas de cores distintas e sobrepostas), o processo tradicional exige atenção e raciocínio para detectar todo e qualquer conflito. Já com uso de ferramentas BIM, por permitirem a detecção automatizada, pelo menos um dos conflitos existentes será encontrado sem esforços, apenas ativando os testes, no entanto, as automatizações não dispensam o papel do coordenador de projetos (AKHMETZHANOVA *et al.*, 2022).

Embora o resultado com BIM tenha sido elevado, houve uma economia de pelo menos 50% em relação ao tempo gasto no método tradicional 2D durante o processo. De posse de computadores com melhor processador e memória, é provável que o processo tivesse sido ainda mais rápido, já que os travamentos vivenciados seriam evitados.

Diante do exposto, a dificuldade na compatibilização 2D se concentra no tempo dedicado à análise minuciosa e conhecimento geral técnico que permita enxergar o que está para além dos desenhos em 2D. Por outro lado, com uso da interface BIM as dificuldades se destacam na disponibilidade de um bom *hardware*, já que um computador com ampla memória, processador e placa de vídeo dedicada é indispensável para o bom funcionamento de ferramentas BIM. Arquivos de modelos quanto mais informações possuem, mais memória e processamento exigem. Isto posto, embora os investimentos em BIM sejam altos a curto prazo, a agilidade e velocidade proporcionada compensam os investimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do processo de compatibilização, utilizando-se dos dois métodos abordados neste trabalho, permitiram o alcance dos objetivos propostos, possibilitando uma comprovação prática da preeminência da metodologia BIM sobre o uso do método tradicional de sobreposição 2D para detecção de conflitos entre projetos, deixando a clara sensação de ter sido mais tranquilo ou menos cansativo. As dificuldades de cada método foram experimentadas e os resultados apresentados, atendendo aos objetivos deste trabalho. Na busca por embasamento teórico a respeito do tema, realizou-se um mapeamento sistemático simplificado da literatura (MS) que mostrou que o número de trabalhos publicados com “BIM” citado em seu título tem aumentado significativamente nos últimos anos. Buscou-se, além da aplicação prática para apresentação dos resultados expostos, identificar as principais incompatibilidades de projetos e suas interferências na obra, entendendo também as dificuldades de implementação do BIM para a compatibilização de projetos em contexto geral e específico do caso estudado.

Foram constatadas algumas intercorrências no fluxo de desenvolvimento desses projetos, as quais interferem no processo de compatibilização. A primeira e mais recorrente se trata de alterações nos projetos arquitetônicos, possibilitada pela liberdade e autonomia do arquiteto enquanto proprietário da construtora, visto que, ao identificar pontos de melhorias, funcionais ou estéticas, a arquitetura determinava mudanças mesmo com a obra já em andamento, o que implica em atrasos na execução e ainda na necessidade de alterações de projetos de outras disciplinas, como projeto estrutural e os de instalações em geral. A revisão de literatura apontou o problema de mudanças de projeto como existente também em outros países.

Na tentativa inicial de estabelecer parâmetros norteadores para o atual estudo, foi visto que as avaliações sobre a superioridade da metodologia BIM para desenvolvimento ou coordenação de projetos nos trabalhos publicados são de caráter predominantemente qualitativo. Muito se fala sobre o BIM tornar os processos mais rápidos, mas apenas um trabalho encontrado no MS atestou as vantagens do BIM por meio de números, focando em economia financeira gerada pelo investimento no trabalho da coordenação de projetos em contraste ao custo potencial gerado pelas incompatibilidades.

Os estudos encontrados costumam apresentar resultados quantitativos apenas sobre o número de conflitos encontrados por setorização, mostrando os elementos e disciplinas com mais conflitos entre si. Neste trabalho, anelava-se também realizar uma análise comparativa mais quantitativa, mas foi sentida a falta de referências sólidas. Um parâmetro que pode ser

utilizado mais facilmente para comparar a superioridade do método BIM é o tempo demandado para compatibilizar, no entanto, o tempo exato para o método tradicional não foi medido (pois foi iniciado antes da proposição deste trabalho), realizando-se aqui, portanto, uma afirmação por estimativas, podendo atestar que usando BIM houve redução de pelo menos 50% do tempo para compatibilizar.

Além da economia de tempo, percebeu-se na prática que a redução da necessidade de conhecimento técnico do indivíduo que está realizando a compatibilização permite que a tarefa seja realizada mesmo por pessoas menos capacitadas, o que é positivo para equipes que não tenham membros com bom grau de competência técnica para buscar os conflitos com o olhar crítico sem ajuda de automações. No caso, como a equipe de coordenação costuma estar sobrecarregada e a contratação de mão de obra qualificada tem sido uma dificuldade, um treinamento básico de ferramentas de detecção de conflito BIM para a equipe permitiria que até mesmo estagiários dessem início ao processo de compatibilização realizando a detecção inicial dos conflitos antes de o coordenador de projetos possuir disponibilidade de tempo para passar o pente fino.

Das dificuldades a serem superadas para avançar no nível de maturidade BIM na empresa, que se encontra no nível 1, destaca-se uma questão de cultura local acima do investimento financeiro que é apresentado na literatura como um dos principais obstáculos para implementação da metodologia, principalmente para pequenos escritórios. Isso ocorre porque os projetistas mais consolidados na região ainda não fornecem seus projetos em BIM e devido à indisponibilidade de mão de obra a ser contratada para compor a equipe de coordenação de projetos. Com isso, é preciso ainda esforços maiores para que se tenha profissionais mais capacitados. A Estratégia BIM BR é o ponto de partida, mas para o setor privado, impor a entrega em BIM no ato da contratação de projetos pode ser um bom começo.

Por tudo isso, sugere-se a realização de novos trabalhos de caráter prático com avaliações quantitativas por parâmetros bem definidos que demonstrem as vantagens do BIM. Entender o universo BIM e possuir noção de compatibilização de projetos deixa de ser um atributo (ou requisito) restrito ao coordenador de projetos, mas se faz útil para todos os envolvidos da cadeia construtiva da AEC. Um profissional que tem noções de conflitos recorrentes, bem como noções gerais de funcionamento de todas as disciplinas; e sabe trabalhar com interoperabilidade, já não é um profissional diferenciado, visto que a necessidade de adesão ao trabalho integrado e à metodologia BIM é ascendente. Por fim, foi possível materializar o entendimento da influência de incompatibilidades no custo de uma obra, além de abstrair lições importantes para projetos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABRAININC - Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias. PIB da construção tem alta de 6,9 em 2022 e puxa crescimento da economia. **ABRAININC**. 2023. Disponível em: <<https://www.abrainc.org.br/construcao-civil/2023/03/02/pib-da-construcao-tem-alta-de-69-em-2022-e-puxa-crescimento-da-economia#:~:text=mar%C3%A7o%20de%202023-,PIB%20da%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20tem%20alta%20de%206%2C9%25%20em%202022,crescimento%20de%202%2C9%25>>. Acesso em: 16 abr. 2023.
- ACCA SOFTWARE. As dimensões do BIM: 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D. **ACCA Software**. 2018. Disponível em: <<https://biblus.accasoftware.com/ptb/as-dimensoes-do-bim-3d-4d-5d-6d-7d/>>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- ADDOR, M. R.; CASTANHO, M. D. A.; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J. P. M.; NARDELLI, E. S.; OLIVEIRA, A. L. Colocando o “i” no BIM. **Revista Arq. Urb.**, São Paulo, n. 4, p. 104-115, 2010. Disponível em: <https://www.usjt.br/arq.urb/numero_04/arqurb4_06_miriam.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.
- AKPONEWARE, A.O.; ADAMU, Z.A. Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM. **Buildings** 2017, 7, 75. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-5309/7/3/75>>. Acesso em: 03 ago. 2023.
- ALMASHJARY, B.; ZOLKAFLI, U. K.; RAZAK, A. S. A. Establishing key factors towards implementing integrated building information modeling (bim) in aec industry: Malaysia study. **Journal of Building performance**. V. 11, p. 116-127, 2020.
- AQUINO, J. P. R. Integração Concepção - Projeto - Execução de Obras. In: Silvio Burrattino Melhado. (Org.). Coordenação de projetos de edificações. São Paulo: **O Nome da Rosa**, 2005. V., p. 51-67.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674**: Manutenção de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6492**: Documentação técnica para projetos arquitetônicos e urbanísticos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 40p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721**: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 91p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13532**: Elaboração de projetos de edificações - Arquitetura. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15965-1**: Sistema de classificação da informação da construção. Parte 1: Terminologia e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16636-1**: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Parte 1: Diretrizes e terminologia. Rio de Janeiro, ABNT, 2017. 19p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16636-2**: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos Parte 2: Projeto arquitetônico. Rio de Janeiro, ABNT, 2017. 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12006-2**: Construção de edificação – Organização de informação da construção – Parte 2: Estrutura para classificação. Rio de Janeiro, ABNT, 2018. 26p.

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. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022. 40p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA - AsBEA. **Guia AsBEA Boas Práticas em BIM** – Fascículo 1: Estruturação do Escritório de Projeto Para a Implantação do BIM. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA - AsBEA. **Manual de escopo de projetos e serviços de Coordenação de Projetos**. 3. ed., São Paulo, 2019.

AUTODESK. What tis Navisworks. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/What-is-Navisworks.html>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

BARQAWI, M.; CHONG, H.; JONESCU, E. "A Review of Employer-Caused Delay Factors in Traditional and Building Information Modeling (BIM)-Enabled Projects: Research Framework". **Advances in Civil Engineering**, London, vol. 2021, p. 24, 2021.

BASILI, V.; Caldiera, G.; Rombach, H.: **Goal Question Metric paradigm. In: Encyclopédia of Software Engineering**. V. 2, 1994. p. 527 –532. Disponível em: <<http://www.cs.toronto.edu/~sme/CSC444F/handouts/GQM-paper.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

BEW, M., & RICHARDS, M. BIM maturity model. Paper presented at the **Construct IT Autumn 2008 Members' Meeting**. Brighton, 2008.

BOGDAN, R. e BIKLEN, S.K. **Qualitative Research for Ecation**. Boston, Allyn and Bacon, Inc. 1984.

BRASIL. **Decreto nº 10.306/2020, de 02 de abril de 2020**. Dispõe sobre 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. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm>. Acesso em: 12 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/14133.htm>. Acesso em: 14 de abr. 2023.

BUDGEN, D., TURNER, M., BRERETON, P., KITCHENHAM, B., Using Mapping Studies in Software Engineering. In: **Proceedings of PPIG 2008**, Lancaster University, 2008, p. 195–204.

CAETANO, A., DA SILVA, D., & MELHADO, S. O Processo de Compatibilização na Gestão de Projetos – Estudo de Caso. **Revista De Engenharia E Pesquisa Aplicada**. 2020, p. 40-46.

CELLARD, A. A análise documental. In: POUPART, J. et al. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis, Vozes, 2008.

CHAHROUR, R.; HAFEEZ, MA; AHMAD, AM; SULIEMAN, HI; DAWOOD, H.; RODRÍGUEZ-TREJO, S.; DAWOOD, N. Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection & resolution. **Constr. Gerenciar Econ**. 39, p. 55–72, 2021.

COSTA, E. N. **Avaliação da Metodologia BIM para a compatibilização de projetos**. 2013. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

CZMOCH, I.; PEKALA, A. Traditional Design versus BIM Based Design. **Elsevier**, Poland, 91, 2014, p. 210-215.

DE FILIPPI, G. A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2015. V. 15, n. 3, p. 161-173.

DENZIN, N. **The Research Act**. New York, McGraw Hill, 1978.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM. Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 483p.

EADIE, R., ODEYINKA, H., BROWNE, M., MCKEOWN, C., & YOHANIS, M. (2014). Building Information Modelling Adoption: An Analysis of the Barriers to Implementation. **Journal of Engineering and Architecture**, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 77–101.

EBBIM – ESCOLA BRASILEIRA DE BIM. Novos Cursos: Navisworks Manage e Trimble Connect – Comparativo entre Navisworks Manage e Trimble Connect (6/7). [Locução de]: arquiteto João Gaspar. TI Lab. 8 de abril, 2021. Vídeo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Hcwto3Hp1ao>> Acesso em: 29 jun. 2023.

FALBO, R. de A. Mapeamento Sistemático. s.d. Disponível em: <<http://claudiaboeres.pbworks.com/w/file/fetch/133747116/Mapeamento%20Sistem%C3%A1tico%20-%20v1.0.pdf>> Acesso em: 30 jun. 2023.

FAMADICO, J. J. Building Information Modeling in the Architecture and Construction Industry. **Advances in Technology Innovation**. 2023. Vol. 8, nº 2, p. 121-135.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. CARACTERÍSTICAS DA REPRESENTAÇÃO 2D E SUAS LIMITAÇÕES PARA A COMPATIBILIZAÇÃO ESPACIAL. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 36-51, 2007. DOI: 10.4237/gtp.v2i2.39. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50918>>. Acesso em: 12 abr. 2023.

GARTOUMI, K. I.; ABOUSSALEH, M.; ZAKI, S. (2021). Building Information Modelling in Morocco: **Quo Vadis**. 2021. p. 479-483.

Get Prices & Buy Navisworks 2023. **Autodesk**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=NAVMAN>> Acesso em: 28 jun. 2023.

GRAZIANO, F. P.. **Compatibilização de Projetos**. 2003. Dissertação (Mestrado Profissionalizante), Instituto de Pesquisa Tecnológica – IPT, São Paulo.

GTBIM: GRUPO TÉCNICO BIM – ASBEA. **Guia AsBEA Boas Práticas em BIM – Fascículo 2: Fluxo de Projetos em BIM: Planejamento e Execução**. São Paulo, agosto de 2015.

HAIDER, U.; KHAN, O.; NAZIR, A; HUMAYON, M. Cost Comparison of a Building Project by Manual and BIM. **Civil Engineering Journal**. Teerã, 2020. Vol. 6, nº 1, janeiro.

HAN, N.; YUE, Z.F.; LU, Y.F. Detecção de colisão de tubos e dutos de instalações de construção com base na tecnologia BIM, em Pesquisa de materiais avançados. **Trans Tech Publ.**, 2012, pp. 312–317.

HERRERA, RF; MOURGUES, C.; ALARCON, LF; PELLICER, E. Comparing Team Interactions in Traditional and BIM-Lean Design Management. **Buildings** 2021, 11, 447.

HSU, H.C.; CHANG, S.; CHEN, C.C.; WU, I.C. Sistema baseado em conhecimento para resolver conflitos de projeto na construção de modelos de informação. **Autom. Constr**, 2020. 110.

IBRAOP – INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **Orientação Técnica OT – IBR 004/2012: Precisão do Orçamento de Obras Públicas**. Florianópolis, 2012, 4p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SCNT – Sistema de Contas Nacionais Trimestrais**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9300-contas-nacionais-trimestrais.html>>. Acesso em: 10 abr. 2023.

ISO 16739-1:2018. **Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**. 2018. 1474p.

JIA, J.; SUN, J.; WANG, Z.; XU, T. The construction of BIM application value system for residential buildings' design stage in China based on traditional DBB mode. International high-performance built environment conference, Amsterdam, **Procedia Engineering**, 2017. 180, p. 851 – 858.

JUSTE, M. C. **Projeto: ferramenta determinante para o custo de um empreendimento imobiliário**. 2013. 104 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

KITCHENHAM, B.A., BRERETON, O.P., BUDGEN, D., Mapping Study Completeness and Reliability – A Case Study, **IET Seminar Dig.**, 2012, pp. 126–135.

KITCHENHAM, B.A., CHARTERS, S., Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. **Tech. Rep.** EBSE-2007-01, Keele University, 2007.

LAUFER, A.; TUCKER, R. L.. **Is Construction Planning Really Doing its Job? A Critical Examination of Focus, Role and Process**. Construction Management and Economics: Londres, 1987.

LUDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. Métodos de coleta de dados: observação, entrevista e análise documental. In: LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986. p.25-43.

LOZINSKI, Ignacy. Navisworks vs Solibri – Model Checker Comparison. 2022. BIM Corner, 16 fev. 2022. Vídeo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=BxNkmDQAJAg&t=346s>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

MACIEL, A. C. F., SOUZA JUNIOR, D. A., & OLIVEIRA, P. H. Detecção de incompatibilidades de projetos entre metodologia convencional 2D E BIM: um estudo comparativo. **Revista de Gestão e Projetos (GeP)**, 2022. 97-116.

MATTOS, Aldo D. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo, Pini, 2010.

MELHADO, Silvio et al. **Manual de Escopo de Serviços para Coordenação de Projetos**. 105 p.

MELHADO, S. M. **Qualidade de projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELHADO, S. B. et al. Coordenação de projetos de edificações. São Paulo. **O Nome da Rosa**, 2005.

MELHADO, S.B.; VIOLANI, M.A.F. **A qualidade na construção civil e o projeto de edifícios**. Série Texto Técnico. TT/02. São Paulo, EPUSP/PCC, 1992.

MIKALDO JR, J. **Estudo comparativo do processo de compatibilização de projetos em 2D e 3D com uso de TI**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), UFPR – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J. de A. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2015. V. 15, n. 1, p. 79-97.

NAWARI, N.O. Building Information Modeling: Automated Code Checking and Compliance Processes. **Taylor & Francis Group**: Boca Raton, FL, EUA, 2018. pp. 50–59.

NEO IPSUM. Solibri ou Navisworks para checagem de modelos? **NEO IPSUM**, 2019. Disponível em: <<https://neoipsum.com.br/solibri-ou-navisworks-para-checagem-de-modelos/>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

PMI: PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia PMBOK** – Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos. 4. ed. Pennsylvania, EUA, 2008.

PICCHI, F. A. Entrevista. **Revista Técnica**, São Paulo, mar. / abr. 1993.

PRUSKOVÁ, Kristyna. BIM Technology and Changes in Traditional Design Process, Reliability of Data from Related Registers. **Iop Publishing Ltd, Bristol**, Conference Series: Materials Science and Engineering. p.1-6, 2020.

REN, Z.; ATOUT, M.; JONES, J. Root Causes of Construction Project Delays in Dubai. In: PANNAL ARCOM CONFERENCE, 24., Cardiff, UK, 2008. **Proceedings...** Cardiff, UK, 2008.

RILEY, D. R. et al. Métricas de custo-benefício para coordenação de projetos de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos em edifícios de vários andares. **Journal of Construction Engineering and Management**, 131(8), pp. 877–889, 2005.

SHEBOB, A.; DAWOOD, N.; SHAH, R.K.; XU, Q. “Comparative study of delay factors in Libyan and the UK construction industry,”. **Journal of Engineering, Construction and Architectural Management**, vol. 19, no. 6, pp. 688–712, 2012.

SOLIBRI. BIM coordination. Disponível em: <<https://www.solibri.com/bim-coordination>> Acesso em: 28 jun. 2023.

SOLIBRI. Solibri Office Lite subscription. The core product for checking and collaboration, from design to build. 2023. Disponível em: <https://buy.solibri.com/?ref=Website&_ga=2.140811506.131037340.1687981768-1280086168.1687981768>. Acesso em: 28 jun. 2023.

SOUZA, A. L. R.; BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S. B. Qualidade, projeto e inovação na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7., 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1995.

SPBIM. O que é o Trimble Connect? Disponível em: <<https://spbim.com.br/cadastro-download-trimble-connect/>>. Acesso em: 29 jun. 2023, às 14h.

STAUB-FRENCH, S.; KHANZODE, A. (2007) 'Modelagem 3D e 4D para coordenação de projeto e construção: problemas e lições aprendidas'. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, 12(26), pp. 381–407, 2007.

STROHAECKER, Amanda. **Aplicação do Planejamento de Obra – Estudo de Caso: Recuperação do Cronograma de Implantação de um Edifício Comercial no município de Teutônia/RS.** Trabalho Acadêmico. Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Univates. Lajeado - RS, 2017. 92 p. Disponível em: <<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/67e1d639-19a3-4166-9bab-f8e6534c6254/content>>. Acesso em: 04 abr. 2023.

SYSTÈMES, D. (2014). End-to-end collaboration enabled by BIM level 3. **White paper by Dassault Systemes published online.** Disponível em: <<https://www.3ds.com/fileadmin/Industries/Architecture-Engineering-Construction/Pdf/Whitepapers/end-to-end-collaboration-enabled-by-bim-level-3-white-paper-aec.pdf>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

TEKLA. Trimble Connect. Disponível em: <<https://www.tekla.com/products/trimble-connect>>. Acesso em: 28 jun. 2023.

THE JOANNA BRIGGS INSTITUTE. Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual: 2011 edition. Adelaide, Australia: **The Joanna Briggs Institute**, 2011.

TRIMBLE COMMUNITY. Trimble Connect Knowledge Center. Disponível em: <https://community.trimble.com/communities/supportcommunity?CommunityKey=61d0b9f7-a848-4769-babd-64bc8154cf53#MainCopy_ctl04_HTMLOptionsControl>. Acesso em: 29 jun. 2023.

TRIMBLE COMMUNITY. Using Clash Detection. Disponível em: <https://community.trimble.com/viewdocument/using-clash-detection#MainCopy_ctl10_lblIsPinned> Acesso em: 29 jun. 2023.

TRIMBLE CONNECT. Viewing Clash Set Results. Trimble Connect for Browser 3D Viewer User Guide. Disponível em: <<https://docs.3d.connect.trimble.com/clashes/viewing-clash-set-results>> Acesso em: 29 jun. 2023.

TOFFANI, Victor Jose. **Gerenciamento na construção civil - planejamento e controle: estudo de caso no planejamento físico de um empreendimento imobiliário.** 2015. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/124277>>. Acesso em: 30 abr. 2023.

TOMMELEIN, ID; GHOLAMI, S. Causas profundas de conflitos na construção de modelos de informação. In Proceedings of the IGLC20: 20th **Annual Conference of the International Group on Lean Construction**, San Diego, CA, EUA, 18–20 de julho de 2012. Disponível em: <<https://iglc.net/Papers/Details/850>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

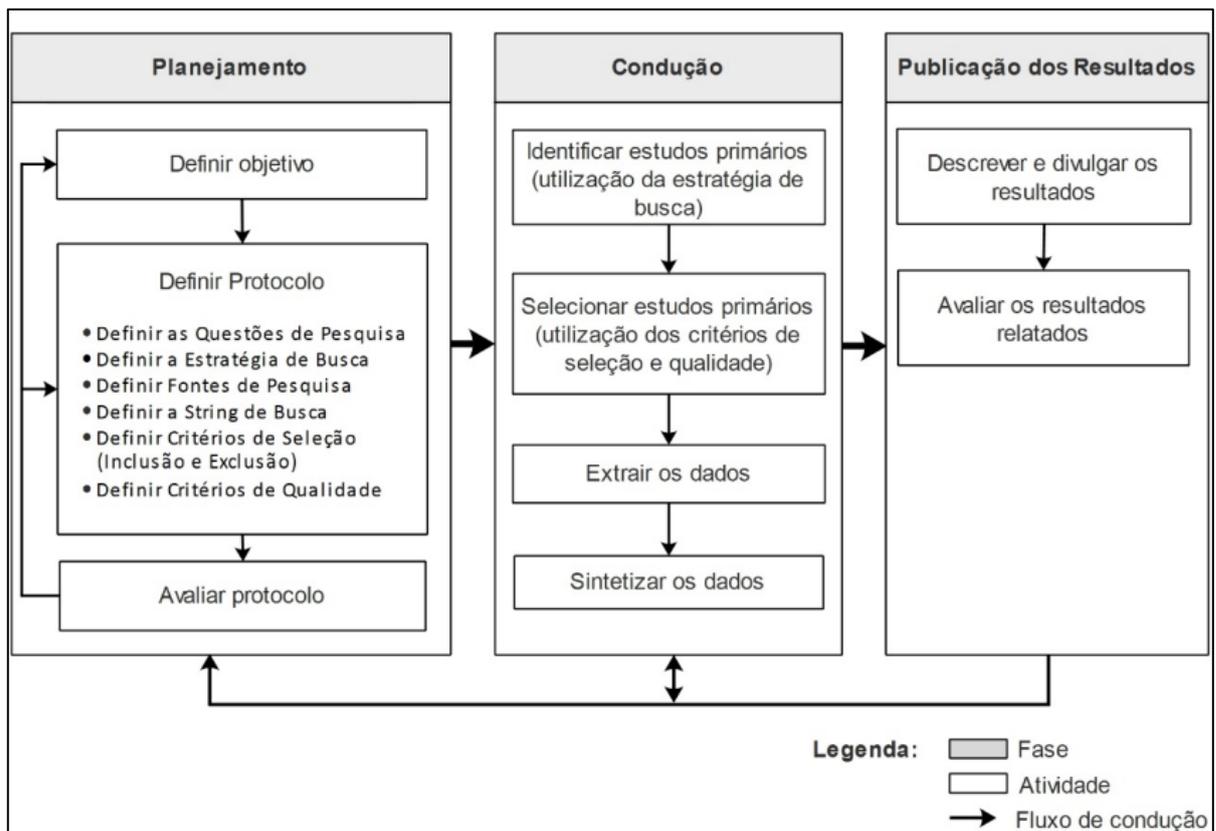
WANG, L. Knowledge formalization and reuse in BIM-based mechanical, electrical and plumbing design coordination in new construction projects using data mining techniques. Tese. Texas, agosto 2014. Disponível em: <<https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/28692>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos.** 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

APÊNDICE A – PROTOCOLO PARA REALIZAÇÃO DO MAPEAMENTO SISTEMÁTICO SIMPLIFICADO DA LITERATURA (MS)

Quando realizado de modo aprofundado e completo, o MS engloba três principais fases: Planejamento, Condução e Publicação dos Resultados (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007), conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 38 – Fluxograma de fases e atividades de um mapeamento sistemático completo



Fonte: FALBO (2015)

A partir desse fluxograma de Kitchenham e Charters (2007) como norte, foi feito o planejamento e protocolo de buscas até a definição final dos materiais selecionados para leitura.

Planejamento

O planejamento foi iniciado pela definição do objetivo, expresso no Quadro 09, apoiando-se na abordagem GQM (Goal-Question-Metric) de Basili & Rombach (1988).

Quadro 09 – Objetivo do mapeamento no modelo GQM

Analisar	Publicações científicas
Finalidade	Estudar/Realizar/Comparar
O quê/Em relação a	Compatibilização
No contexto / processo	Projetos/BIM/Construção Civil
Do ponto de vista do(a)	Coordenação de projetos

Fonte: Autora (2023)

Ou seja, pretende-se analisar publicações científicas com o propósito de compreender o estado da arte sobre os itens abordados no trabalho: a compatibilização no processo de desenvolvimento de projetos na construção civil em um cenário em que a metodologia BIM é emergente.

Traçando o protocolo de busca, define-se a fonte de pesquisa, a *string* de busca e os critérios de seleção.

Fonte de Busca: uma base de dados foi consultada, no mês de julho de 2023, por meio do acesso institucional no site da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), do Ministério da Educação (MEC): *Web of Science*. A escolha se deu por: as publicações indexadas na base de dados são regularmente atualizadas; a máquina de busca possui interface de fácil entendimento, além da vasta disponibilidade dos estudos em inglês, língua internacionalmente aceita para a redação de trabalhos científicos.

String de busca: foi feito o refinamento por meio da PICO (População ou Problema, Fenômeno de Interesse (Interest) e Contexto), estratégia difundida a princípio em pesquisas de saúde que também se fez útil para as demais áreas. A estratégia considera 3 blocos temáticos como necessários para encontrar respostas com evidências científicas de qualidade: a população ou problema em questão, o Fenômeno de Interesse e o Contexto. A construção da *string* se encontra nos Quadros 10 e 11.

Quadro 10 – Seleção de descritores e palavras-chave para construção de *strings* de busca

P - Participantes/População ou Problema	I - Fenômeno de Interesse (Interest)	Co - Contexto
Projeto Compatibilização Detecção de Conflitos Sobreposição Tradicional ou manual	BIM Modelagem da Informação da Construção Gerenciamento de projetos Coordenação de projetos Desenvolvimento de projetos	Construção Civil Arquitetura Engenharia Civil AEC
<i>Project Compatibility Clash detection overlay or overlapping Traditional or manual</i>	<i>BIM Building Information Modeling Project management Project coordination Project development</i>	<i>Civil Construction Architecture Civil Engineering</i>

Fonte: Autora (2023)

Quadro 11 – Construção de *strings* de busca

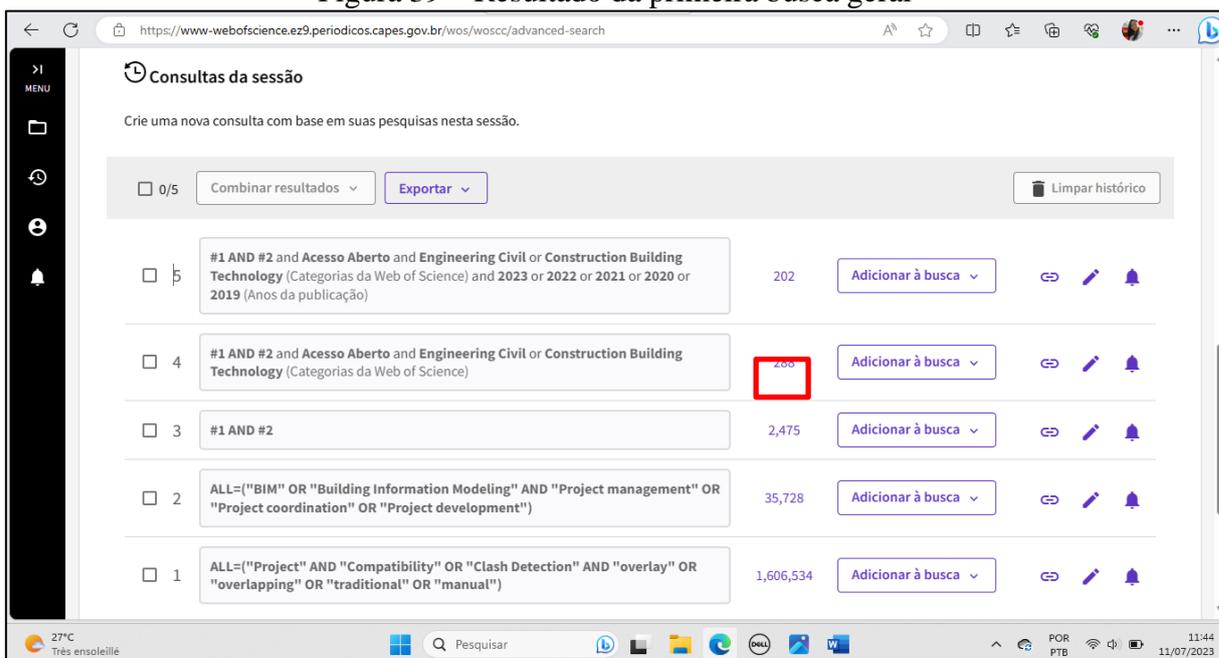
Strings 1	Strings 2	Strings geral
<i>"Project" AND "Compatibility" OR "Clash Detection" AND "overlay" OR "overlapping" OR "traditional" OR "manual"</i>	<i>"BIM" OR "Building Information Modeling" AND "Project management" OR "Project coordination" OR "Project development"</i>	<i>("Project" AND "Compatibility" OR "Clash Detection" AND "overlay" OR "overlapping" OR "traditional" OR "manual") AND ("BIM" OR "Building Information Modeling" AND "Project management" OR "Project coordination" OR "Project development")</i>

Fonte: Autora (2023)

Condução: busca, seleção, extração e síntese dos dados

Utilizando-se inicialmente da *strings* geral de busca do Quadro 11 e das restrições de publicações com acesso aberto, nos idiomas inglês e português, nas categorias *Engineering Civil* e *Construction Building Technology*, obteve-se um resultado de 288 artigos encontrados, como destacado na Figura 39. Note que, em seguida, ao selecionar um filtro para os últimos 5 anos de publicações, têm-se 202 resultados, o que equivale a 70,14%, indicando o aumento de publicações relacionadas ao tema nos últimos tempos. *Link* dos resultados da busca: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/093a79d0-45b5-41d4-bb32-09433a5cf71a-9745e235/relevance/1>.

Figura 39 – Resultado da primeira busca geral



Fonte: Autora (2023)

No entanto, pelo volumoso resultado obtido, fez-se necessário testar novos refinamentos de busca, determinando, assim, os resultados com as palavras-chave nos títulos das publicações, selecionando somente os idiomas em inglês ou português e categorias cabíveis, além de novamente limitar os resultados para textos com acesso aberto. Com isso, o resultado foi de 12 publicações (Figura 40), gerado pela seguinte *string* de busca:

(TI=("Project" AND "Compatibility" OR "Clash Detection" AND "overlay" OR "overlapping" OR "traditional" OR "manual") AND TI=("BIM" OR "Building Information Modeling") AND (LA==("ENGLISH" OR "PORTUGUESE"))) AND (OA==("OPEN ACCESS")) AND (TASCA==("ENGINEERING CIVIL" OR "CONSTRUCTION BUILDING TECHNOLOGY" OR "ARCHITECTURE" OR "BUSINESS" OR "ENGINEERING MULTIDISCIPLINARY"))

Em que:

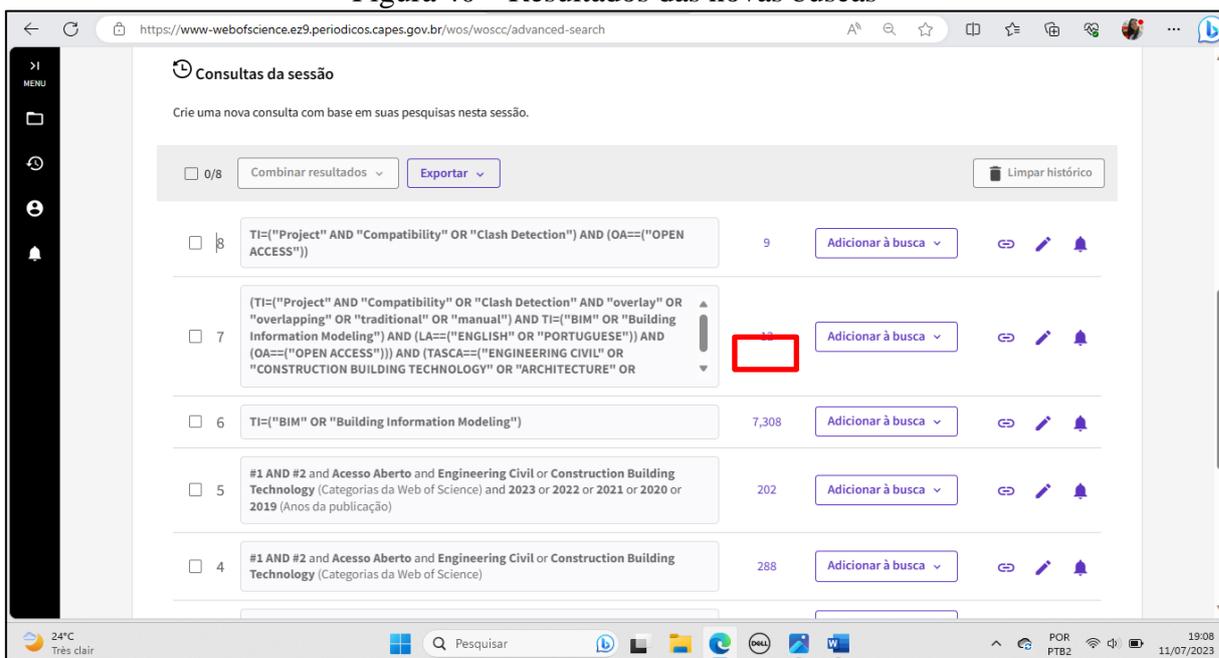
“TI=” restringe a existência das palavras-chave no título do artigo;

“LA==” seleciona os idiomas desejados;

“OA==” inclui somente as publicações com acesso aberto;

“TASCA==” inclui as categorias escolhidas.

Figura 40 – Resultados das novas buscas



Fonte: Autora (2023)

Link dos resultados da busca: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/e596374c-3e43-4dcd-a3a2-a4ac7f1df925-9746e5b1/relevance/1>.

A fim de obter uma amostra maior, executou-se a 8ª consulta mostrada na Figura 40, mais restritiva para a compatibilização de projetos, na qual o resultado foi de 9 artigos. Link do resultado: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/summary/515ee4fe-669b-4f5b-b2b3-9549ebb32065-97470576/relevance/1>.

As listas dos 12 artigos da 7ª consulta e dos 9 artigos da 8ª consulta foram exportadas para uma tabela em Excel, realizando-se a leitura dos 21 títulos e resumos, etapa que selecionou 11 artigos finais para leitura completa, cujos títulos estão descritos no Apêndice B.

Kitchenham e Charters (2007) propõem que a seleção dos artigos encontrados na *string* de busca seja feita com a definição de critérios de inclusão e exclusão.

Os critérios de inclusão (CI) definidos foram:

- CI1: Apresentar abordagens ou aplicação prática de compatibilização de projetos;
- CI2: Descrever e/ou comparar técnicas de compatibilização de projetos;
- CI3: Abordar a metodologia BIM para coordenação e/ou compatibilização de projetos;

- CI4: Abordar aspectos sobre implementação do BIM;
- CI5: Relacionar incompatibilidades de projetos e consequências na obra.

Os critérios de exclusão (CE) foram:

- CE1: Não possuir no texto referências relevantes para o tema;
- CE2: Ter data de publicação anterior aos últimos 13 anos.

Para selecionar a primeira amostra obtida na *Web Of Science* com a *string* de busca, é necessário um primeiro filtro pelas leituras do título e do resumo, sendo posteriormente feita a leitura do texto completo dos arquivos escolhidos aplicando os CI e CE.

Tratando-se da extração dos dados, foram listadas informações relevantes (IR) a serem observadas, alimentando durante a leitura uma tabela em Excel constando: título, autores, ano e local de publicação, tipo de estudo (teórico, prático, estudo de caso etc.), IRs e principais resultados ou conclusões. As IR listadas foram:

- IR1: Referências importantes utilizadas;
- IR2: Tópicos de interesse evidenciados;
- IR3: Problemas mais encontrados na aplicação prática de compatibilização e na implantação do BIM;
- IR4: Tipo de solução aplicada e onde se originou, suas vantagens ou limitações;
- IR5: Tecnologias ou ferramentas abordadas ou utilizadas.

APÊNDICE B – ARTIGOS EXTRAÍDOS COMO RESULTADO DO MS

O Quadro 12 dispõe de onze dos vinte e um artigos obtidos na plataforma *Web Of Science* como resultado do MS após o primeiro filtro (leitura dos títulos e resumos). O Quadro apresenta os artigos, com seus respectivos autores, títulos, fonte de publicação, local e ano de publicação. Os artigos destacados na cor vermelha são os excluídos após a leitura completa, ou seja, dos onze, quatro não possuíam informações de forte aderência ao trabalho.

Quadro 12 – Artigos extraídos da *Web Of Science*

AUTOR	TÍTULO	FONTE DE PUBLICAÇÃO	LOCAL	ANO
Akhmetzhanova, B; Nadeem, A; Hossain, MA; Kim, JR	Clash Detection Using Building Information Modeling (BIM) Technology in the Republic of Kazakhstan	BUILDINGS	BASEL	2022
Chi, HY; Juan, YK; Lu, SL	Comparing BIM-Based XR and Traditional Design Process from Three Perspectives: Aesthetics, Gaze Tracking, and Perceived Usefulness	BUILDINGS	BASEL	2022
Maciel, ACF; de Souza, DA; Oliveira, PH	Detection of design incompatibilities between traditional 2d and bim methodology: a comparative study	REVISTA DE GESTAO E PROJETOS	SAO PAULO	2022
Barqawi, M; Chong, HY; Jonescu, E	A Review of Employer-Caused Delay Factors in Traditional and Building Information Modeling (BIM)-Enabled Projects: Research Framework	ADVANCES IN CIVIL ENGINEERING	LONDON	2021
Herrera, RF; Mourgues, C; Alarcon, LF; Pellicer, E	Comparing Team Interactions in Traditional and BIM-Lean Design Management	BUILDINGS	BASEL	2021
Chahrour, R; Hafeez, MA; Ahmad, AM; Sulieman, HI; Dawood, H; Rodriguez-Trejo, S; Dawood, N	Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection and resolution	CONSTRUCTION MANAGEMENT AND ECONOMICS	ABINGDON	2021

AUTOR	TÍTULO	FONTE DE PUBLICAÇÃO	LOCAL	ANO
Pruskova, K	BIM Technology and Changes in Traditional Design Process, Reliability of Data from Related Registers	5TH WORLD MULTIDISCIPLINARY CIVIL ENGINEERING-ARCHITECTURE-URBAN PLANNING SYMPOSIUM (WMCAUS)	BRISTOL	2020
Haider, U; Khan, U; Nazir, A; Humayon, M	Cost Comparison of a Building Project by Manual and BIM	CIVIL ENGINEERING JOURNAL-TEHRAN	TEHRAN	2020
Caetano, I; Leitao, A	Integration of an algorithmic BIM approach in a traditional architecture studio	JOURNAL OF COMPUTATIONAL DESIGN AND ENGINEERING	OXFORD	2019
Jia, J; Sun, JY; Wang, ZQ; Xu, TR	The construction of BIM application value system for residential buildings' design stage in China based on traditional DBB mode	INTERNATIONAL HIGH-PERFORMANCE BUILT ENVIRONMENT CONFERENCE - A SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT CONFERENCE 2016 SERIES (SBE16), IHBE 2016	AMSTERDAM	2017
Czmoch, I; Pekala, A	Traditional Design versus BIM Based Design	XXIII R-S-P EMINAR, THEORETICAL FOUNDATION OF CIVIL ENGINEERING (23RSP) (TFOCE 2014)	AMSTERDAM	2014

Fonte: Autora (2023)

APÊNDICE C – EXEMPLO DE PARECER DE COMPATIBILIZAÇÃO

	PARECER DE COMPATIBILIZAÇÃO	Nº 3092022
--	------------------------------------	--

DATA: 23/09/2022

- SPA:

O SPA sofreu muitas alterações de layout, tornando o hidrossanitário incompatível com a arquitetura atual, conforme imagem abaixo. Além disso, repete-se a locação de caixas no local da cerca viva, diminuindo o espaço entre as tubulações de esgoto e pluvial na execução.



APÊNDICE D – QUESTÕES NORTEADORES PARA ENTREVISTA

QUESTÕES NORTEADORAS PARA ENTREVISTA

- 1 Quantos **projetos** são **coordenados** na obra?
- 2 Quantos deles foram **modelados usando** a tecnologia **BIM**?
- 3 Quais as principais dificuldades para implementação de BIM **na gestão** de projetos?
- 4 E quais as dificuldades de implementação de BIM **para compatibilização** dos projetos?
- 5 Nesse contexto, quais as principais **causas das incompatibilidades** de projetos?
- 6 Na sua percepção, qual é o nível de maturidade BIM em sua empresa?
() **0 (nível zero ou pré-BIM):** contém documentação em papel, criada à mão ou com o auxílio de programas CAD 2D ou 3D, sem informações associadas ao desenho;
() **1 (nível um):** possui documentação 2D e 3D na forma de arquivos digitais com informações básicas como quantitativos de materiais e custos unitários, mas sem o uso de um banco de dados detalhado. Além disso, nesse nível não há mudanças na forma contratual, a aquisição dos projetos continua na forma tradicional;
() **2 (nível dois):** apresenta os diferenciais da colaboração entre disciplinas e do gerenciamento de biblioteca, o que implica em mudança na estrutura de contratação dos projetos e nos processos internos da empresa;
() **3 (nível três):** BIM inteligente (iBIM), de integração ampla, que engloba o gerenciamento da construção ao longo do ciclo de vida do projeto, ou seja, projeto, construção e operação. Além disso, espera-se a introdução de padrões ISO e o uso generalizado de formatos BIM, por exemplo, IDM, IFC, IFD.