



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MATHEUS SANTOS DE MACÊDO

OS BENEFÍCIOS DO USO DO BIM NA REDUÇÃO DOS
CUSTOS DE OBRA DECORRENTES DA NÃO
COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS DE ENGENHARIA:
REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

NATAL-RN

2024

Matheus Santos de Macêdo

Os benefícios do uso do BIM na redução dos custos de obra decorrentes da não compatibilidade entre projetos de engenharia: revisão sistemática de literatura

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega

Natal-RN

2024

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Macedo, Matheus Santos de.

Os benefícios do uso do BIM na redução dos custos de obra decorrentes da não compatibilidade entre projetos de engenharia: revisão sistemática de literatura / Matheus Santos de Macedo. - 2024.

68f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Curso de Engenharia Civil, Natal, 2024.

Orientação: Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega.

1. BIM - Monografia. 2. Construção civil - Monografia. 3. Compatibilização de projetos - Monografia. 4. Redução dos custos de obra - Monografia. I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira. II. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 72.012

Elaborado por Jackeline dos Santos Pinheiro da Silva Maia
Cavalcanti - CRB-15/317

Matheus Santos de Macêdo

Os benefícios do uso do BIM na redução dos custos de obra decorrentes da não
compatibilidade entre projetos de engenharia: estudo de caso

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega

Aprovado em 09/08/2024.

Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega – Orientadora

Profa. Dra. Micheline Damião Dias Moreira – Examinadora interna

Me. Marco Aurélio da Câmara Cavalcanti de Albuquerque Neto – Examinador externo

Natal-RN

2024

A Cristo, minha vida, por todas as graças concedidas neste caminho e à minha família, que em tudo me apoiou, formou e tornou possível.

AGRADECIMENTOS

Um coração grato sabe colher os frutos que plantou, sejam eles frondosos ou, em sua simplicidade, humildes.

Agradeço a Deus, minha rocha, sobre a qual edifiquei toda a minha trajetória até aqui. Sua Providência não me faltou nas diversas dificuldades de minha vida e me concedeu forças para a conclusão de minha jornada.

À minha família, sobretudo meu amado pai e minha amada mãe, por terem me dado apoio incondicional durante estes todos estes anos de faculdade e em toda a minha trajetória acadêmica. Com eles, aprendi o significado das palavras resiliência e responsabilidade.

À minha noiva, por seu apoio inestimável ao longo destes últimos anos de curso. Seu afeto e sua torcida sempre me foram constantes.

Aos amigos que fiz ao longo deste caminho e ao longo de caminhadas pretéritas, mas que permanecem junto a mim até os dias de hoje.

Aos meus estimados professores e orientadores, em especial à minha orientadora Ana Cecília Vieira Nóbrega, por todo o conhecimento técnico repassado e todo o apoio nesta reta final de curso.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte por toda a estrutura fornecida e corpo docente brilhante. Minha gratidão a tudo que vivi nesta universidade.

Aos colegas de trabalho, por, nestes anos em que estagiei, me terem repassado experiências e conhecimentos valiosos para o exercício ético da minha profissão.

E, enfim, a todos os meus amigos e colegas, aos quais serei sempre grato por toda a estima e apoio nesta fase.

OS BENEFÍCIOS DO USO DO BIM NA REDUÇÃO DOS CUSTOS DE OBRA DECORRENTES DA NÃO COMPATIBILIDADE ENTRE PROJETOS DE ENGENHARIA: REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Matheus Santos de Macêdo

Orientadora: Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega

RESUMO

O *Building Information Modeling* (BIM) representa uma revolução tecnológica na construção civil, proporcionando a integração de informações de design em um modelo tridimensional. Esta monografia apresenta uma revisão sistemática da literatura, examinando as vantagens e desafios da implementação do BIM 3D em comparação com o método tradicional CAD 2D, com foco na compatibilização de disciplinas como arquitetura, engenharia estrutural e instalações. A adoção do BIM 3D permite uma visualização mais precisa e detalhada dos projetos, o que facilita a detecção precoce de conflitos entre diferentes disciplinas, reduzindo significativamente os custos associados a retrabalhos e erros de projeto. Os estudos analisados destacam que a compatibilização proporcionada pelo BIM 3D não apenas melhora a eficiência e a precisão das estimativas de custos, mas também aprimora a comunicação e a colaboração entre as equipes de projeto. A capacidade de identificar e resolver conflitos de design antes do início da construção é um dos principais benefícios do BIM 3D, que contribui para uma gestão de projeto mais eficaz e econômica. Além disso, o investimento inicial em tecnologia BIM e treinamento é amplamente compensado pelos benefícios a longo prazo, incluindo a redução de custos, melhorias na qualidade do projeto e uma gestão mais eficiente dos recursos. Conclui-se que a adoção do BIM 3D é essencial para a modernização da construção civil, oferecendo uma abordagem mais integrada e colaborativa para o desenvolvimento de projetos. Esta tecnologia se destaca como uma ferramenta indispensável para profissionais do setor, promovendo a sustentabilidade e a eficiência em todas as etapas do ciclo de vida dos projetos. A transição do CAD 2D para o BIM 3D é, portanto, uma evolução necessária para alcançar maior precisão, reduzir desperdícios e melhorar a entrega de projetos na construção civil.

PALAVRAS-CHAVE: BIM. Construção civil. Compatibilização de projetos. Redução dos custos de obra.

**THE BENEFITS OF USING BIM IN REDUCING CONSTRUCTION COSTS
RESULTING FROM THE LACK OF COORDINATION BETWEEN ENGINEERING
PROJECTS: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

Matheus Santos de Macêdo

Advisor: Profa. Dra. Ana Cecília Vieira Nóbrega

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) represents a technological revolution in civil construction, providing the integration of design information into a three-dimensional model. This monograph presents a systematic review of the literature, examining the advantages and challenges of implementing 3D BIM compared to the traditional 2D CAD method, focusing on the compatibility of disciplines such as architecture, structural engineering and facilities. The adoption of 3D BIM allows for a more accurate and detailed visualization of projects, which facilitates the early detection of conflicts between different disciplines, significantly reducing the costs associated with rework and design errors. The studies analyzed highlight that the compatibility provided by 3D BIM not only improves the efficiency and accuracy of cost estimates, but also improves communication and collaboration between project teams. The ability to identify and resolve design conflicts before construction begins is one of the key benefits of 3D BIM, which contributes to more effective and cost-effective project management. Furthermore, the initial investment in BIM technology and training is largely offset by long-term benefits, including cost reduction, improvements in project quality and more efficient management of resources. It is concluded that the adoption of 3D BIM is essential for the modernization of civil construction, offering a more integrated and collaborative approach to project development. This technology stands out as an indispensable tool for professionals in the sector, promoting sustainability and efficiency at all stages of the project life cycle. The transition from 2D CAD to 3D BIM is, therefore, a necessary evolution to achieve greater precision, reduce waste and improve project delivery in construction.

KEYWORDS: BIM. Civil construction. Project compability. Reduction of construction costs.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1 - Projeto arquitetônico de planta baixa de uma residência unifamiliar de alto padrão.	22
Figura 2 - Corte arquitetônico vertical.....	23
Figura 3 - Projeto arquitetônico de fachada.	23
Figura 4 - Esboço de projeto de formas de uma residência unifamiliar.....	25
Figura 5 - Exemplo de projeto de instalações sanitárias em um edifício multifamiliar.....	27
Figura 6 - Fluxo geral de etapas do desenvolvimento de projeto.....	29
Figura 7 - Dimensões BIM.....	35
Figura 8 - Usos principais e secundários do BIM.....	37
Figura 9 - Detecção de conflitos no <i>software</i> Autodesk Navisworks ®.	39
Figura 10 - Estratégia de busca das publicações.	43
Figura 11 - Fluxograma de pesquisa.....	43
Figura 12 - Fluxograma de seleção dos trabalhos.	45
Figura 13 - Fluxograma do estudo dos resultados obtidos.....	46
Figura 14 - Fluxograma de discussão dos resultados.....	46
Figura 15 - Estudo de caso 01.	49
Figura 16 - Estudo de caso 02.	49
Figura 17 - Estudo de caso 03.	49
Figura 18 - Empreendimento escolhido por Salgado (2018).	52
Figura 19 - Empreendimento modelo por Lima (2022).....	54
Figura 20 - Projeto inicial (modelo 1).....	56
Figura 21 - Projeto final (modelo 2).....	57
Figura 22 - Imagem renderizada do objeto de estudo.....	59

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
Gráfico 1 - O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício.....	20
Gráfico 2 - Capacidade de influenciar o custo ao longo do empreendimento.....	28
Gráfico 3 - Gráfico comparativo entre o processo tradicional de desenvolvimento de projetos (CAD) e o processo BIM	32

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
Tabela 1 - Comparação entre orçamento das etapas e valor alcançado pelo método proposto no estudo de caso 03	51
Tabela 2 - Comparação de custos	53
Tabela 3 - Incompatibilidades encontradas nas análises de Maciel, Junior e Oliveira (2022).	55
Tabela 4 - Redução quantitativa dos insumos de obra.	58
Tabela 5 - Redução do quantitativo e orçamento de concreto no projeto.	60
Tabela 6 - Dados de acerto das interferências nas diferentes interfaces e diferentes padrões.	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Considerações iniciais	14
1.2	Justificativa.....	15
1.3	Objetivos.....	16
1.3.1	Objetivo geral.....	16
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	Estrutura da monografia	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Fundamentação de projetos.....	19
2.1.1	Conceitos iniciais	19
2.1.2	Projetos de arquitetura	21
2.1.3	Projeto estrutural	23
2.1.4	Projetos complementares: hidrossanitário, elétrico e climatização.....	25
2.2	A influência dos projetos no custo de uma obra.....	27
2.3	Fluxo de trabalho nos sistemas CAD 2D (<i>Computer Aided Design</i>).....	28
2.4	BIM (<i>Building Information Modeling</i>).....	30
2.4.1	Fluxo de trabalho BIM em comparação ao tradicional fluxo de trabalho CAD 2D 31	
2.4.2	Dimensões BIM.....	32
2.4.3	<i>Level of Development</i> (LOD), ou Nível de Desenvolvimento.....	35
2.4.4	Principais usos do BIM.....	36
2.4.5	Principais <i>softwares</i> BIM da atualidade	37
2.5	A metodologia BIM e a interoperabilidade entre as disciplinas	38
2.6	Compatibilização de projetos.....	39

3	METODOLOGIA – MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	Protocolos de pesquisa.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1	Pesquisadas selecionadas.....	47
4.2	Características das pesquisas selecionadas.....	48
4.3	Síntese dos resultados e discussões.....	48
4.3.1	A contribuição da metodologia BIM na estimativa de custos na fase de projetos 48	
4.3.2	O impacto no custo final de obra da definição dos parâmetros de orçamentação na fase inicial de projeto por meio do BIM.....	51
4.3.3	Detecção de incompatibilidades de projeto	53
4.3.4	O impacto financeiro da compatibilização de projetos por meio do BIM em obras residenciais	55
4.3.5	Desafios na adoção da metodologia BIM por parte dos profissionais de engenharia nos processos de compatibilização de projetos.....	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5.1	Considerações acerca da presente estudo.....	62
5.2	Sugestões para trabalhos futuros.....	63
6	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

O ofício da engenharia civil tem tido fundamental papel na materialização de projetos ao longo de toda a história humana. Desde as civilizações antigas, com seus zigurates e pirâmides faraônicas até os modernos arranha-céus, que já ultrapassam a marca das centenas de metros de altura, o engenheiro civil tem sido o principal responsável por transformar a matéria-prima da natureza em infraestrutura para todas as outras atividades humanas, tanto em meio urbano como em meio rural. Contudo, o engenheiro civil não é responsável apenas por suas contribuições estéticas e funcionais, mas também por garantir a máxima economia na execução dos projetos, promovendo o uso econômico e sustentável dos recursos da construção.

No Brasil, a espelho de outras economias ao redor do globo terrestre, o setor da Construção Civil representa uma das atividades com maior impacto no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro: no ano de 2023, embora tivera apresentado uma leve queda de 0,5% no ano, ainda assim é o setor responsável por gerar aproximadamente 5% de todo o PIB do cenário brasileiro (IBGE, 2023).

Contudo, o setor da Construção Civil ainda apresenta muitos gargalos no quesito compatibilização de projetos, gerando retrabalhos nos canteiros responsáveis por inflar os custos de obra. Nesse sentido, o BIM (*Building Information Building*) ou Modelagem da Informação da Construção, em português, surge como um avanço promissor nos setores da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Entre as principais contribuições positivas do BIM para o setor AEC estão a melhoria na compatibilização dos projetos, a precisão na estimativa de custos e a perspectiva multidimensional dos empreendimentos.

Consoante Eastman, Sacks, Teicholz e Ghang (2021), com esta tecnologia é literalmente possível construir um modelo virtual de edificação com um nível de precisão consideravelmente mais alto se comparado com os tradicionais modelos *Computer Aided Design 2D* (Desenho Assistido por Computador 2D ou simplesmente CAD 2D). Azhar (2011) reforça que a precisão na estimativa de custos ajuda a evitar surpresas financeiras e a manter o projeto dentro do orçamento previsto. Ademais, Succar (2009) também menciona que o BIM possibilita a simulação de diferentes cenários e alternativas, contribuindo para a tomada de decisões mais informadas e econômicas.

Nesse âmbito, levando-se em consideração o fato de que grandes construtoras e incorporadoras têm adotado cada vez mais a política da terceirização dos projetos executivos, viu-se surgir no mercado a necessidade de profissionais e setores inteiramente voltados para a compatibilização entre os projetos executivos, a fim de evitar conflitos entre as disciplinas, os quais viessem a causar, no futuro, retrabalhos e custos adicionais aos orçamentos de obra. Contudo, uma das principais desvantagens do sistema tradicional método CAD 2D, ainda amplamente utilizado pelos escritórios de engenharia brasileiros, em relação à compatibilização de projetos é a dificuldade de integração entre os diferentes projetos de um mesmo empreendimento, sendo as disciplinas de arquitetura, engenharia estrutural e instalações as mais conflitantes.

De acordo com Souza (2016), o uso do sistema CAD 2D pode levar a uma falta de coordenação e a erros de comunicação entre as equipes envolvidas. Isso ocorre porque o método CAD 2D não oferece uma visão integrada e tridimensional do projeto, dificultando a identificação de interferências e conflitos entre as diferentes disciplinas. Conforme Silva (2018), os conflitos entre disciplinas são comuns no sistema CAD 2D, pois cada disciplina tende a trabalhar de forma isolada, gerando desenhos bidimensionais que, muitas vezes, não são completamente compatíveis entre si.

A compatibilização prévia entre as disciplinas ainda na fase de projeto proporcionada pela metodologia BIM gera economias significativas na etapa executiva, uma vez que evita retrabalhos e atrasos, fatos comuns em canteiros quando as incompatibilidades entre os projetos são identificadas apenas na fase de execução da obra. Consoante Sacks, Koskela, Dave e Owen (2010), o BIM permite uma colaboração eficaz e uma integração de dados entre as equipes, facilitando a detecção e resolução de conflitos em estágios iniciais do projeto. Isso reduz desperdícios de materiais e otimiza o uso da mão de obra, além de manter o cronograma da construção eficiente e dentro do orçamento previsto. Kymmell (2008) também reforça que a implementação do BIM leva a uma gestão de projetos mais precisa e econômica, resultando em uma redução substancial dos custos diretos e indiretos associados a alterações não planejadas e atrasos no cronograma executivo.

1.2 Justificativa

A difusão da metodologia BIM constitui um novo panorama no setor AEC, uma vez que permite uma visualização tridimensional da obra ainda em fase de projeto por meio da modelagem 3D dos dados da construção, proporcionando a detecção das incompatibilidades

ainda na fase de concepção do empreendimento. Segundo Eastman, Sacks, Teicholz e Ghang (2021), “a adoção generalizada do BIM e o uso de um modelo digital abrangente ao longo do ciclo de vida de uma edificação seriam um passo na direção certa para eliminar tais custos resultantes de interoperabilidade de dados inadequada”.

Nesse âmbito, a má interoperabilidade entre projetos na construção civil implica em, além de custos significativos devido a retrabalhos, atrasos e ineficiências operacionais. Segundo um estudo da McKinsey & Company (2023), os custos associados à má interoperabilidade e à fragmentação do setor podem alcançar até 6% do valor total dos projetos de construção. Este dado ressalta a importância crucial de adotar soluções integradas como o BIM para minimizar esses desafios (MCKINSEY; COMPANY, 2023). A Deloitte (2023) complementa, indicando que as perdas não se restringem aos custos diretos, afetando também a margem de lucro e a competitividade no mercado. Portanto, investir em tecnologias que melhoram a interoperabilidade pode oferecer retornos substanciais, reduzindo custos desnecessários e aumentando a eficiência geral do projeto (DELOITTE, 2023).

Este trabalho apresentará uma revisão sistemática de literatura que, com bases nos estudos incluídos, proporcionará o conhecimento dos custos com retrabalhos decorrentes das incompatibilidades de projeto nas edificações estudadas pelas pesquisas analisadas, os quais poderiam ter sido evitados ou significativamente reduzidos por meio do emprego da metodologia BIM ainda na fase de projeto, em que as incompatibilidades entre as disciplinas de arquitetura, estrutura e projetos complementares teriam sido detectadas por meio das ferramentas nativas dos *softwares* BIM. Este estudo poderá servir como embasamento para futuras tomadas de decisão de incorporadoras e agentes da construção civil quanto ao emprego e implementação da metodologia BIM na fase de projetos de construção, tendo como enfoque a compatibilização de projetos e redução de custos de obra.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma revisão sistemática de literatura para avaliar como a metodologia BIM ainda na fase de projetos pode reduzir custos na fase de execução e obra das disciplinas de arquitetura, engenharia estrutural e projetos complementares (instalações elétricas, hidrossanitárias, entre outras) pela compatibilização eficaz entre as disciplinas em sua fase de concepção, comparando-se com as limitações do sistema CAD 2D,

bem explorando-se os benefícios econômicos decorrentes da prevenção de retrabalhos e atrasos na fase executiva.

1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar a revisão sistemática de literatura de estudos de caso em que a aplicação da metodologia BIM para a compatibilização entre projetos permitiu estimar reduções significativas no custo final da obra;
- Avaliar a eficácia da metodologia BIM na redução de custos com retrabalhos em projetos residenciais quando aplicada na fase de projetos, destacando a coordenação entre as disciplinas envolvidas;
- Analisar a assertividade da metodologia BIM na geração de quantitativos para fins de orçamentação e estimativa precisa de custos executivos;
- Analisar a eficiência financeira das obras estudadas proporcionada pelo BIM devido à previsão e correção das incompatibilidades entre disciplinas de projeto arquitetônico, estrutural e complementares;
- Comparar a gestão de conflitos entre o BIM e o CAD 2D, analisando economia de tempo e recursos em projetos de construção civil.

1.4 Estrutura da monografia

A presente monografia está dividida em 6 (seis) capítulos, que serão elencados e brevemente descritos nesta seção. Cada capítulo traz elementos norteadores acerca de cada tema tratado neste trabalho, explorando cada temática de modo a esclarecer ao leitor os pontos relevantes à compreensão da proposta desta monografia.

O primeiro capítulo trata-se de uma introdução ao tema abordado por este trabalho, bem como apresentar os objetivos gerais e específicos norteadores desta monografia, além de justificar a sua relevância para o desenvolvimento do tema tratado, fundamento de sua escolha.

No segundo capítulo, tem-se o referencial teórico que embasa e compreende todos os conceitos tratados neste trabalho. É tecida a fundamentação teórica acerca da compatibilização entre projetos, ressaltando sua importância no contexto da elaboração dos projetos antes da emissão de sua versão executiva, que será executada em obra. Também são expostas as

metodologias CAD e BIM, com destaque para o impacto desta última no orçamento das obras em comparação com a primeira, e outras definições pertinentes.

No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada na revisão sistemática de literatura que compõe este trabalho. O detalhamento da metodologia empregada abarca todos os critérios utilizados para a coleta de dados, estudo e análise das informações obtidas das fontes, fundamentando as conclusões tecidas nesta monografia.

O quarto capítulo, por sua vez, apresenta uma síntese dos resultados obtidos da revisão sistemática de literatura realizada e dos estudos de caso analisados neste trabalho. Neste capítulo, encontrar-se-ão tabelas comparativas com os dados obtidos da pesquisa em bancos de dados pertinentes, em que se analisam dados orçamentários e índices de projeto gerados pela metodologia BIM comparados com a metodologia tradicional CAD 2D.

O quinto capítulo traz um apanhado geral das informações analisadas neste trabalho, consolidando-as, bem como conclui a discussão de maneira reflexiva acerca do avanço da metodologia BIM na compatibilização de projetos e redução de custos de obra com base nos trabalhos consultados.

O sexto e último capítulo, por sua vez, traz a listagem das referências que nortearam e embasaram todo o tratamento dado ao tema abordado nesta monografia, constituindo a memória teórico-bibliográfica que nortearam a discussão do tema tratado nesta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, tratar-se-ão os aspectos teóricos referentes ao embasamento desta monografia e revisão sistemática de literatura, de modo a abordar os principais conceitos do tema. A revisão bibliográfica aborda comparações entre o BIM e o tradicional método CAD 2D, focando especificamente em como cada metodologia influencia a eficiência, custos e gestão de incompatibilidades em projetos e o reflexo disso na fase executiva de obra.

Ademais, este capítulo explorará trabalhos que detalham a aplicação prática do BIM em diferentes especialidades de projetos, fornecendo uma visão ampla sobre sua eficácia em melhorar a compatibilização de projetos e em reduzir necessidades de retrabalho. Inicialmente, serão introduzidos conceitos iniciais acerca do tema, evoluindo para os demais temas pertinentes.

2.1 Fundamentação de projetos

2.1.1 Conceitos iniciais

Os projetos, na construção civil, podem ser definidos como os documentos técnicos que nortearão a fase executiva de uma obra, elaborados com base nas normas técnicas vigentes e o delineamento arquitetônico proposto. Contudo, Marques (1992), Stemmer (1988), Ferreira (1986) e Bonsiepe (1983) apud Melhado e Agopyan (1995) abordam a definição de projeto tanto nos seus caracteres técnicos como nos seus caracteres socioculturais, conforme descrito no Quadro 1 abaixo. Segundo estes autores, projeto é:

Quadro 1 - Definições de projeto.

Autor	Caráter	Citação
Marques (1992)	Técnico	“... um modelo de solução para resolver um determinado problema.”
Stemmer (1988)		“... uma atividade criativa, intelectual, baseada em conhecimentos (..) mas também em experiência (...) um processo de otimização.”
Ferreira (1986)	Sociocultural	“... é uma ideia que se forma de executar ou realizar algo, no futuro.”
Bonsiepe (1983)		“... a ação de intervir ordenadamente, mediante atos antecipatórios, no meio ambiente. A ação pode manifestar-se em produtos, edifícios, sinais, avisos publicitários, sistemas, organizações, tanto em estruturas físicas como em estruturas não físicas.”

Fonte: Autor (2024).

Segundo a Norma Brasileira Regulamentadora (doravante, NBR) 16636-1 (2017), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (doravante, ABNT), na página 11, tem-se que projeto se trata da:

“Representação do conjunto dos elementos conceituais, concebido, desenvolvido e elaborada por profissional habilitado, necessária à materialização de uma ideia

arquitetônica, realizada por meio de princípios técnicos e científicos, visando à consecução de um objetivo ou meta, adequando-se aos recursos disponíveis, leis, regramentos locais e às alternativas que conduzam à viabilidade da decisão.” (ABNT NBR 16636-1, 2017, pág. 11)

Ainda segundo Melhado e Agopyan (1995), o projeto possui três clientes: o empreendedor, o construtor e o usuário, de modo que o projeto deve satisfazer as necessidades desses mesmos clientes. Além disso, é do projeto que são extraídos os quantitativos para definição dos custos de execução, de modo que nesta etapa é crucial o estabelecimento de critérios objetivos de especificação de materiais e compatibilização entre as disciplinas. Consoante Hammarlund e Josephson (1992), as decisões tomadas na fase inicial de um empreendimento são as que mais tem a capacidade de influenciar na redução de custos da obra e falhas futuras. O Gráfico 1 abaixo evidencia a influência que a fase de concepção de projetos possui na definição dos custos de uma obra:

Gráfico 1 - O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício



Fonte: Hammarlund e Josephson (1992).

Portanto, o projeto também pode ser entendido em sua dimensão econômico-financeira, uma vez que constitui a fonte e o lastro de todos os custos de produção considerados para a fase executiva em obra, promovendo uma mensuração assertiva, ou não, destes custos. Segundo Amorim (2010), os problemas decorrentes da má compatibilidade entre projetos podem resultar em desperdício de materiais e aumento do tempo de construção, impactando negativamente o orçamento planejado.

2.1.2 Projetos de arquitetura

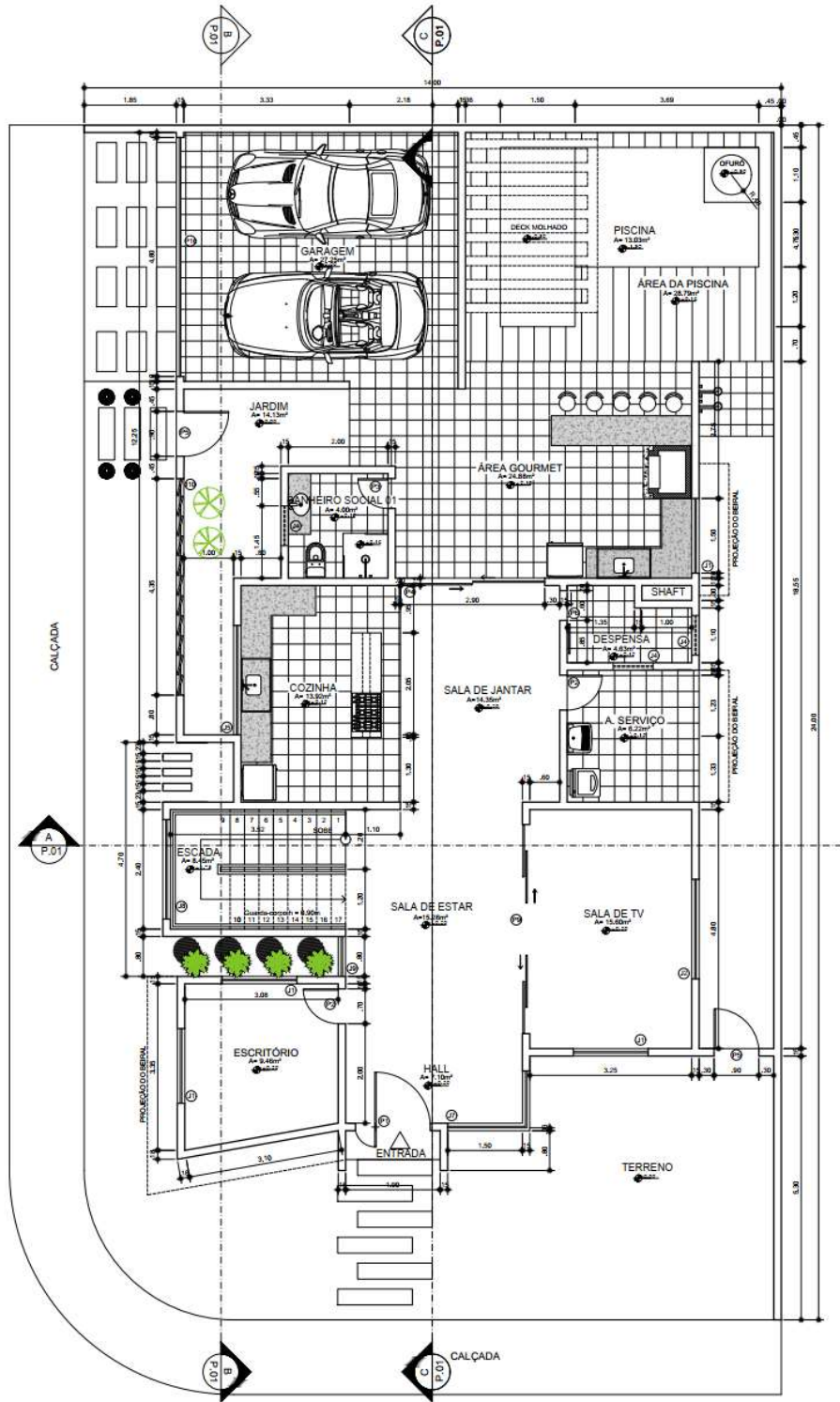
A ABNT NBR 16636-2 (2017) traz a seguinte definição de projeto de arquitetura:

“O projeto de concepção arquitetônica da edificação abrange a determinação e a representação dos ambientes e seus compartimentos, seus elementos, componentes e materiais da edificação, com a sua organização, agenciamento, definição estética e ordenamento do espaço construído para uso humano ou representativo, de cunho cultural ou monumental.” (ABNT 16636-2, 2017, pág. 1).

Nesse sentido, o projeto de arquitetura constitui-se como sendo o responsável por todo o sequenciamento projetual a ser adotado pelos projetos de estrutura e instalações e demais disciplinas pertinentes à materialização da concepção arquitetônica na realidade tangível, garantindo sua segurança e funcionalidade. Desse modo, o projeto arquitetônico possui papel crucial no tocante à interoperabilidade entre as disciplinas, de modo que, norteando os projetos de engenharia, também se adeque a estes no que for necessário.

Os documentos gerados pela disciplina de arquitetura subdividem as vistas dos objetos projetados em plantas baixas, cortes verticais, detalhes, planta de implantação, fachadas, especificações de revestimentos a serem empregados, entre outros. A Figura 1 abaixo traz um exemplo de planta baixa arquitetônica em 2D, a Figura 2 exhibe um exemplo de corte arquitetônico e a Figura 3 demonstra um exemplo de projeto arquitetônico de fachada.

Figura 1 - Projeto arquitetônico de planta baixa de uma residência unifamiliar de alto padrão.



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TÉRREO

ESCALA _____ 1:50

ÁREA DE CONSTRUÇÃO _____ 170.62 m²

Fonte: Autor (2019).

Figura 2 - Corte arquitetônico vertical.



Fonte: Autor (2019)

Figura 3 - Projeto arquitetônico de fachada.



Fonte: Autor (2019).

2.1.3 Projeto estrutural

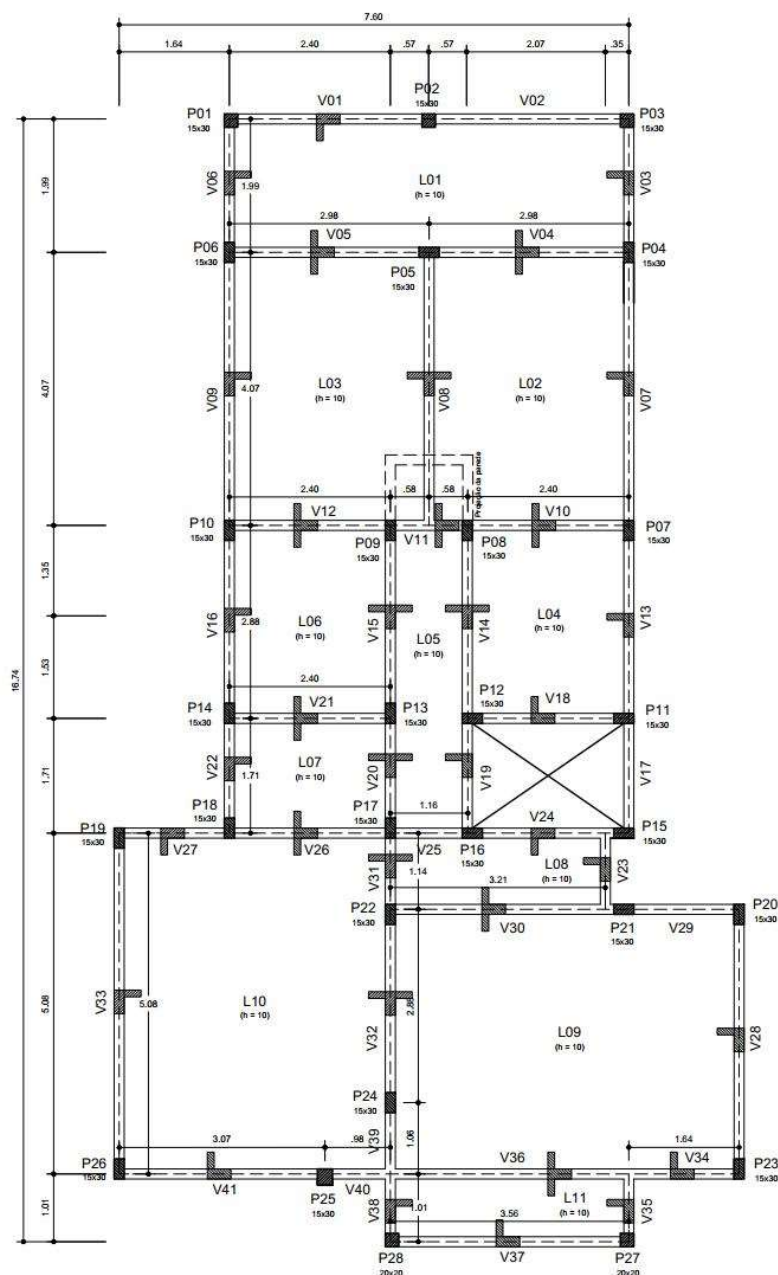
O projeto estrutural é a fase do processo de engenharia que envolve o planejamento e detalhamento das estruturas de uma construção, como edifícios, pontes e outras obras. A importância do projeto estrutural é destacada pela sua capacidade de assegurar que a estrutura

suporte todas as cargas previstas, incluindo o peso próprio, cargas de uso e forças naturais, como vento e terremotos, e também é de grande importância na garantia da eficiência na alocação de recursos, pois deve ter como objetivo a otimização do uso dos insumos.

Segundo a NBR 6118 (2023), o projeto estrutural deve promover a “integração com os demais projetos (elétrico, hidráulico, ar-condicionado e outros), explicitadas pelos responsáveis técnicos de cada especialidade, com a anuência do contratante”. Nesse sentido, a interação entre as disciplinas de projeto estrutural e as demais disciplinas de projeto possui estreita interdependência. Segundo Jacorski (2003), há a necessidade da circulação da informação atualizada para todos os envolvidos na fase de projeto, “um alto grau de interdependência nos projetos e entre os parceiros que se envolvem no desenvolvimento de projetos para edificações” (JACOSKI, 2003, pág. 165). Em se tratando do projeto de estruturas, tem-se um grande número de interferências entre as disciplinas de projetos complementares e a conformação estrutural do empreendimento, uma vez que rebaixos em vigas, furos em peças de concreto e diminuição de seções transversais são usualmente especificados para que possuam a melhor conformação possível com os projetos de instalações.

Os principais produtos gerados pelo projeto de estruturas são a planta de forma, planta de detalhes e planta de detalhamento de aço. A Figura 4 abaixo exemplifica um esboço de projeto estrutural de formas de lajes de uma construção residencial unifamiliar.

Figura 4 - Esboço de projeto de formas de uma residência unifamiliar.



PLANTA DE FORMA: PAVIMENTO TÉRREO
Escala 1:100

Fonte: Autor (2022)

2.1.4 Projetos complementares: hidrossanitário, elétrico e climatização

“Projetos complementares são projetos técnicos que se integram aos projetos arquitetônicos e os completam” (BUSS, CARNEIRO, LÉDO, 2020, pág. 320). Nesse âmbito, integram os projetos complementares disciplinas que garantem ao empreendimento sua

funcionalidade. As normas brasileiras e outros autores nos fornecem as seguintes definições acerca das disciplinas hidrossanitária, elétrica e de instalações de climatização, que se enquadra como sistemas de distribuição de ar, agrupadas no Quadro 2 abaixo. Estas disciplinas e sua explanação foram escolhidas por sua grande interferência nas outras disciplinas de projeto.

Quadro 2 - Definições das disciplinas de projetos complementares.

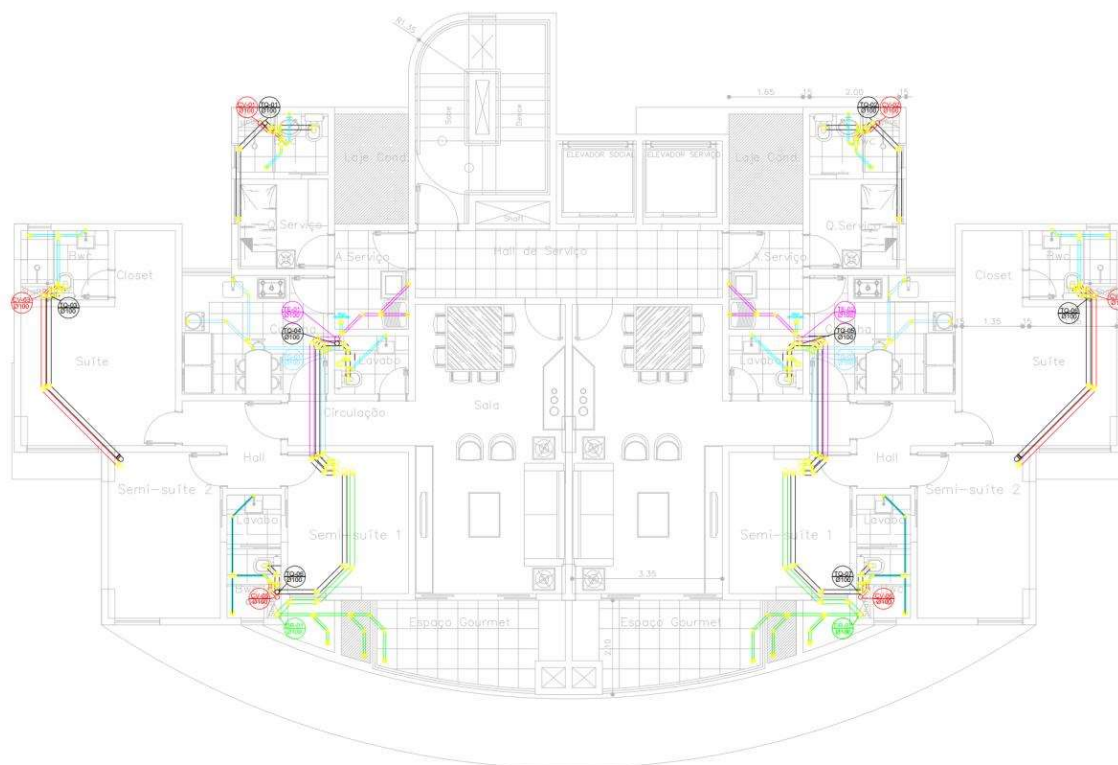
Norma	Termo	Definição
NBR 15575-6 (2021)	Sistema hidrossanitário	“Sistemas hidráulicos prediais destinados a suprir os usuários com água potável e de reuso, e a coletar e afastar os esgotos sanitários, bem como coletar e dar destino às águas pluviais.”
Meneses e Quaresma (2021)	Instalações elétricas	“O projeto elétrico visa estabelecer os circuitos e especificar pontos de luz e de tomadas com relação ao projetado para cada ambiente e dos equipamentos que serão instalados. Além disso, também faz parte do projeto determinar os tipos de proteção, como disjuntores e para-raios e fio-terra, para garantir a segurança do usuário contra choques elétricos e dos equipamentos contra curto-circuitos.”
NBR 15848 (2024)	Sistema de distribuição de ar	“Dutos e componentes, como registros, difusores, grelhas e plenuns, que compõem os sistemas de insuflação, retorno e renovação de ar provenientes de uma mesma casa de máquina ou equipamentos de movimentação de ar.”

Fonte: Autor (2024).

Além disso, Algayer (2014) afirma que o estudo preliminar de todas as disciplinas complementares deve ser feito no intuito de evitar interferências muito grandes na concepção do projeto arquitetônico. Nesse âmbito, os projetos complementares são aqueles que mais apresentam a necessidade da análise da interação entre as disciplinas de arquitetura e estrutura, pois a conformação das instalações pode, não raro, necessitar da execução de ajustes em vigas, lajes, alvenarias, pé direito da edificação e rebaixos no forro, o que pode gerar uma série de retrabalhos caso não sejam previstos na etapa executiva, sobretudo em se tratando de instalações hidrossanitárias e de climatização, cujos diâmetros são consideráveis.

Como demonstração, a Figura 5 abaixo exemplifica um projeto de instalações sanitárias para o pavimento tipo de um edifício multifamiliar.

Figura 5 - Exemplo de projeto de instalações sanitárias em um edifício multifamiliar.



Fonte: Autor (2023).

2.2 A influência dos projetos no custo de uma obra

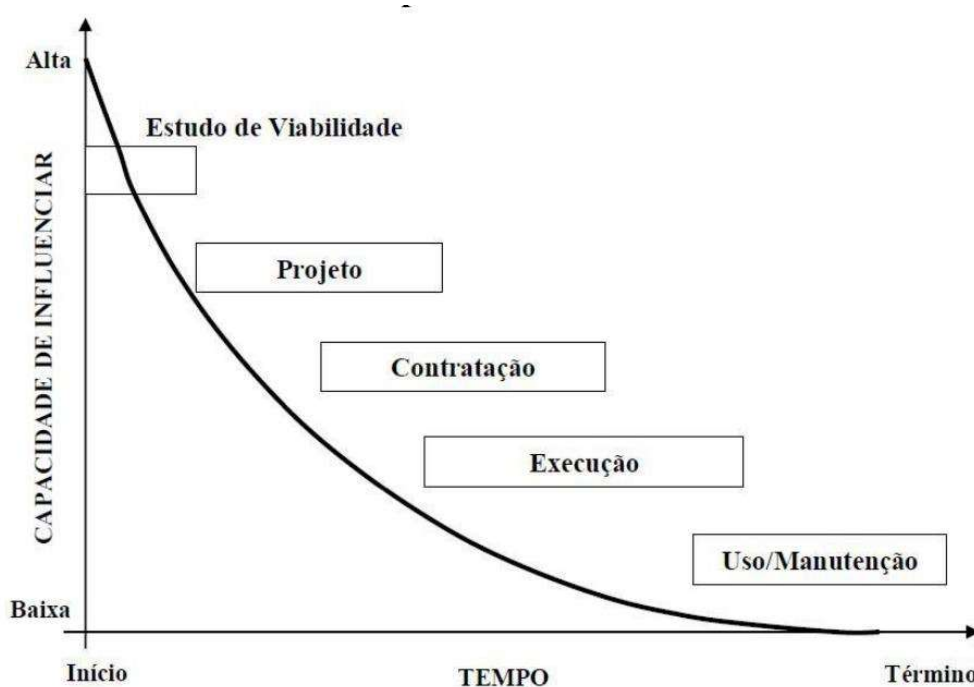
A fase de projeto é crucial para a determinação dos custos de uma obra, uma vez que é nesta fase que são definidos os materiais que comporão o panorama da fase executiva. A escolha dos revestimentos, o formato da estrutura, os detalhes arquitetônicos e as instalações complementares consistem no lastro do qual são extraídos os quantitativos para a composição da fase de orçamento. Segundo Shah, Bhatti e Ahmed (2023), a má gestão de práticas de gerenciamento durante essa fase pode levar a sobrecustos significativos, devido a estimativas inadequadas e falhas na coordenação de atividades. Isso ocorre porque as decisões tomadas na fase de projeto afetam todas as fases subsequentes deste, incluindo a execução e a entrega.

Contudo, mesmo de salutar importância, a elaboração dos projetos tende por vezes a ser terceirizada ou elaborada de modo não colaborativo entre os setores da mesma empresa, o que ocasiona a falta de comunicação entre os projetistas e, por conseguinte, entre as disciplinas. Uma das consequências diretas desse fato é o excesso de retrabalhos nos processos de desenvolvimento dos projetos, o que compromete a qualidade do produto final disponibilizado para a etapa executiva. Ao canteiro de obras não raro é creditada a responsabilidade por compatibilizar as disciplinas, comprometendo a qualidade da entrega final do empreendimento,

uma vez que itens não previstos ou não compatibilizados em projeto podem obrigar a execução de ajustes indesejáveis em obra, por vezes prejudicando a concepção arquitetônica inicial dos ambientes.

Hammarlund e Josephson (1992) apud Melhado e Agopyan (1995) defendem a ideia de que a tomada de decisão nas fases iniciais do empreendimento tem participação principal na redução de custos de falhas do edifício. O Gráfico 2 abaixo, desenvolvido pelo *Construction Industry Institute* (CII) evidencia que as fases de projeto e de estudo de viabilidade possuem a maior capacidade de influenciar o custo ao longo do empreendimento.

Gráfico 2 - Capacidade de influenciar o custo ao longo do empreendimento.

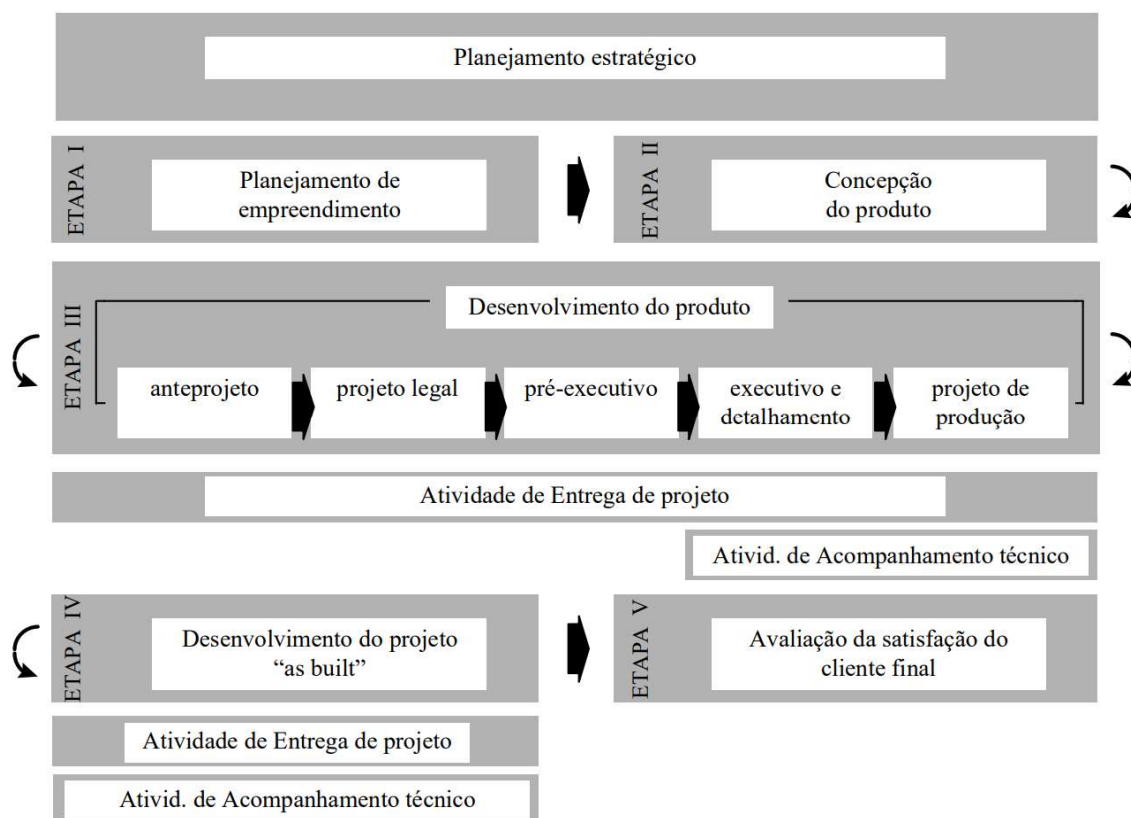


Fonte: CII, 1987.

2.3 Fluxo de trabalho nos sistemas CAD 2D (*Computer Aided Design*)

Os sistemas CAD 2D permitem a produção dos desenhos relacionados a cada disciplina de maneira bidimensional, quer seja no formato horizontal (plantas baixas) ou vertical (cortes e detalhes transversais), de maneira independente, isto é, um desenho não possui interdependência de elementos gráficos com outro de modo nativo. Desse modo, as disciplinas de projeto não são desenvolvidas num ambiente colaborativo, mas de modo separado, cada qual no seu escopo individual. O Centro de Tecnologia em Edifícios (CTE, 1998) apud Melhado, Baía e Fabrício (1998) fornecem um fluxograma geral das etapas de elaboração de um projeto na Figura 6 abaixo:

Figura 6 - Fluxo geral de etapas do desenvolvimento de projeto.



Fonte: CTE (1998) apud Fabrício, Baía e Melhado (1998), adaptado.

Consoante CTE (1998) apud Fabrício, Baía e Melhado (1998), as quatro etapas de desenvolvimento do projeto podem ser entendidas como:

“[...] a etapa I consiste no planejamento de empreendimentos, que visa, entre outras coisas, constatar a viabilidade de um produto definido a partir das necessidades de mercado. A etapa II, denominada de concepção do produto, caracteriza o produto quanto a: ambientes, processos construtivos, formas e geometria. Na etapa III, ocorre o desenvolvimento do produto, que é subdividido em cinco estágios de desenvolvimento: anteprojeto; projeto legal; projeto pré-executivo; projeto executivo; e projeto para produção. Na etapa IV, o projeto “as built” é desenvolvido e, finalmente na fase V é feita uma avaliação da satisfação do cliente final. Observa-se, ainda, que a atividade de entrega do projeto ocorre ao longo das etapas III e IV, e que a atividade de acompanhamento técnico da execução da obra inicia-se a partir da conclusão do projeto executivo até a elaboração do projeto ‘as built’.” (CTE, 1998 apud BAÍA, FABRÍCIO E MELHADO, 1998. Adaptado.)

A metodologia de trabalho CAD 2D, ainda que muito difundida no meio construtivo e no universo de projetos atual, apresenta entraves que podem diminuir a eficiência dos projetos em relação aos modelos 3D especialmente na Etapa III do fluxograma apresentado na Figura 6

acima. O uso de CAD 2D é comumente utilizado por sua simplicidade e acessibilidade, especialmente para projetos que não requerem visualizações complexas em 3D. No entanto, uma das limitações é a falta de perspectiva tridimensional, o que dificulta a plena identificação de problemas de compatibilidade entre diferentes disciplinas de projeto no momento da geração do documento executivo, uma vez que a compatibilização nesta metodologia é feita por meio da sobreposição dos projetos.

Além disso, o fator tempo de execução nos sistemas CAD 2D apresenta outra limitação no fluxograma completo da elaboração dos projetos. Ferreira e Santos (2004) apud Ferreira e Santos (2007) conduziram um estudo em que a eficiência em termos de tempo de execução de projetos de vedações verticais foi 28% maior usando o fluxograma dos modelos 3D em relação aos modelos 2D.

2.4 BIM (*Building Information Modeling*)

O BIM ou Modelagem da Informação da Construção é uma metodologia que vem sendo empregada como uma solução promissora frente aos sistemas CAD 2D tradicionais, uma vez que permite a parametrização de toda a edificação em um ambiente virtual tridimensional. Segundo Eastman, Sacks, Teicholz e Ghang (2021), “BIM é uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção.”

Com o aumento da capacidade de visualização do projeto, esta metodologia garante uma grande assertividade na identificação e correção de falhas de projeto, incompatibilidades entre as disciplinas, erros de concepção arquitetônica, entre outros, dentro de um ambiente colaborativo, em que os diversos projetistas e os diversos projetos dialogam entre si. No cenário brasileiro, a metodologia BIM ganhou mais destaque a partir da Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos, a Lei nº 14.133/2021, que estabelece, em seu artigo 19, inciso 3º, a adoção preferencial do BIM para obras públicas de engenharia e serviços de arquitetura:

“Art. 19. § 3º Nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modelling* - BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la.” (BRASIL, 2021).

Contudo, a tecnologia BIM não é algo exclusivo da construção civil, mas já possui aplicações em outros setores da indústria, tais como o automobilístico e o naval, uma vez que envolvem grande complexidade e requerem grande precisão processual e executiva. Na

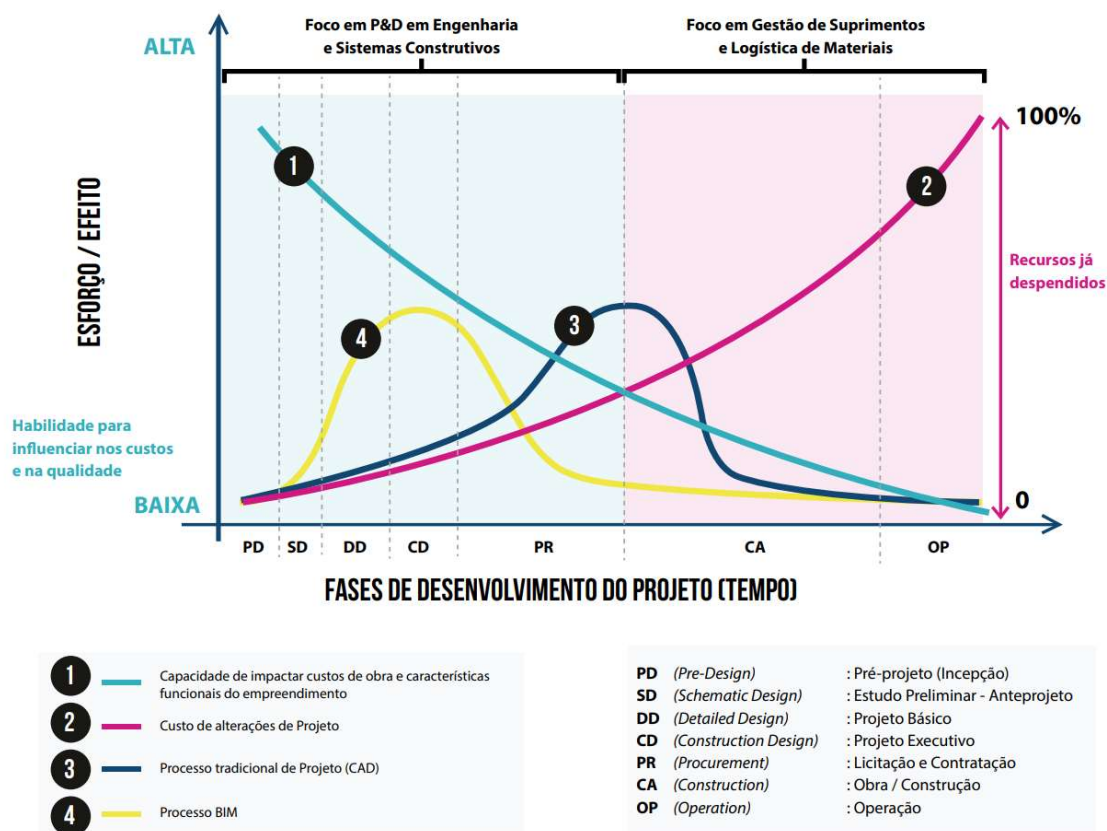
construção civil, a metodologia BIM tem suas raízes nos anos 1960, quando engenheiros e visionários como Charles M. Eastman e Douglas Engelbart começaram a explorar a ideia de representar informações de construção em três dimensões. Nos anos 1970, o desenvolvimento de *software* específico para modelagem de informações em construção, como o “*Synthastructure*” desenvolvido por Eastman, marcou uma fase crucial na evolução do BIM, permitindo a criação de modelos 3D mais complexos e integrando dados detalhados (TRENDS, 2024).

2.4.1 Fluxo de trabalho BIM em comparação ao tradicional fluxo de trabalho CAD 2D

Segundo Catelani (2016), o emprego da metodologia BIM acelera os processos de decisões que precisam ser tomadas, não apenas relacionadas aos detalhes construtivos e especificações de um determinado projeto, mas também sobre os métodos construtivos que serão utilizados. Nesse sentido, e em comparação com a metodologia tradicional CAD 2D, vê-se significativos avanços sobretudo no tocante à visualização das nuances de projeto e o comportamento da interoperabilidade entre as disciplinas.

Ainda corroborando com o fato de que o emprego da metodologia BIM na fase de projetos pode significar reduções consideráveis no custo de uma obra, Catelani (2016) evidencia que “a capacidade para impactar custos de obra e características funcionais de um empreendimento diminui conforme o projeto evolui pelos estágios do seu ciclo de desenvolvimento”, em que as maiores oportunidades de redução de custos e definição de racionalizações concentram-se na fase de projeto, consoante a região esquerda do Gráfico 3 abaixo. Este estudo mais recente de Catelani (2016) corrobora as conclusões tecidas por Hammarlund e Josephson (1992) e apresentadas no Gráfico 1 acima.

Gráfico 3 - Gráfico comparativo entre o processo tradicional de desenvolvimento de projetos (CAD) e o processo BIM



Fonte: Catelani (2016)

2.4.2 Dimensões BIM

Segundo Venâncio (2015), o BIM apresenta dimensões que podem ir do 3D ao 7D, abrangendo outras realidades da fase executiva de projeto, tais como a inserção da dimensão tempo no projeto, permitindo criar, visualizar e simular cronogramas de obra (BIM 4D), a inserção de novos materiais como variáveis que impactem no custo da obra (BIM 5D), a inserção de variáveis voltadas à sustentabilidade da obra (BIM 6D) e até mesmo a inserção de informações acerca de fabricantes, fornecedores, referências e garantias de equipamentos (BIM 7D) (VENÂNCIO, 2015).

O BIM 2D refere-se ao uso de software de modelagem digital para criar representações bidimensionais de um projeto de construção. Esse estágio é frequentemente o ponto de partida para o desenvolvimento de projetos em BIM, onde se utilizam ferramentas CAD para gerar plantas baixas, cortes e elevações de um edifício.

A principal função do BIM 2D é fornecer desenhos técnicos que servem como base para todas as outras dimensões do BIM, incluindo a coordenação e documentação do projeto. Esses desenhos 2D são geralmente utilizados para comunicar informações iniciais de projeto e especificações de *layout* às partes interessadas do projeto. Embora o BIM 2D se concentre em informações geométricas limitadas aos eixos X e Y, ele pode incluir dados adicionais, como materiais e especificações técnicas, facilitando uma melhor compreensão do projeto.

O BIM 3D refere-se à criação de modelos digitais que incorporam a geometria tridimensional de um projeto de construção, utilizando os eixos X, Y e Z. Essa metodologia permite a visualização completa da estrutura de um edifício, incluindo elementos como vigas, paredes, pisos, equipamentos mecânicos e hidráulicos, bem como suas propriedades físicas, como materiais e acabamentos, melhorando significativamente a precisão dos projetos, facilitando a detecção de conflitos e a coordenação entre diferentes disciplinas, como arquitetura, engenharia estrutural e instalações.

Uma das principais vantagens do BIM 3D é a capacidade de realizar a detecção de conflitos (“*clash detection*”). Isso significa que, em vez de revisar manualmente desenhos bidimensionais para identificar possíveis conflitos de *design*, as equipes de projeto podem usar ferramentas de *software* para detectar automaticamente e resolver esses conflitos no ambiente tridimensional.

O BIM 4D refere-se à adição da dimensão temporal aos modelos tridimensionais de construção, incorporando informações de cronograma ao modelo 3D, permitindo a visualização das sequências de construção ao longo do tempo. Isso é essencial para o planejamento eficaz do projeto, pois ajuda as equipes a preverem como o edifício será construído e a identificar potenciais conflitos de cronograma antes que ocorram, o que pode reduzir significativamente os riscos de atraso e custos adicionais.

O BIM 5D busca integrar as informações de custo aos modelos de construção, proporcionando uma análise financeira detalhada e gerenciamento orçamentário durante todo o ciclo de vida de um projeto. Além das dimensões espaciais (3D) e de tempo (4D), o BIM 5D inclui dados de custo, permitindo uma visualização precisa de como mudanças nos materiais e métodos de construção afetam o orçamento.

Essa tecnologia é particularmente útil para estimativas de custos, planejamento de materiais e mão de obra e identificação de potenciais problemas financeiros antes que eles ocorram. A integração dessas informações em um único modelo facilita a colaboração entre todos os envolvidos no projeto, como clientes, projetistas, engenheiros e contratantes, ajudando a reduzir riscos e desperdícios

O BIM 6D estende o conceito do BIM para incluir informações sobre sustentabilidade e o ciclo de vida do edifício, como a eficiência energética e o impacto ambiental. Essa dimensão permite que as equipes de projeto e construção incorporem dados de desempenho energético, emissões de carbono, consumo de água e outros aspectos ambientais nos modelos BIM. Dessa forma, o BIM 6D facilita a tomada de decisões mais informadas em relação à sustentabilidade durante o processo de *design* e construção, além de possibilitar o monitoramento contínuo durante a operação do edifício.

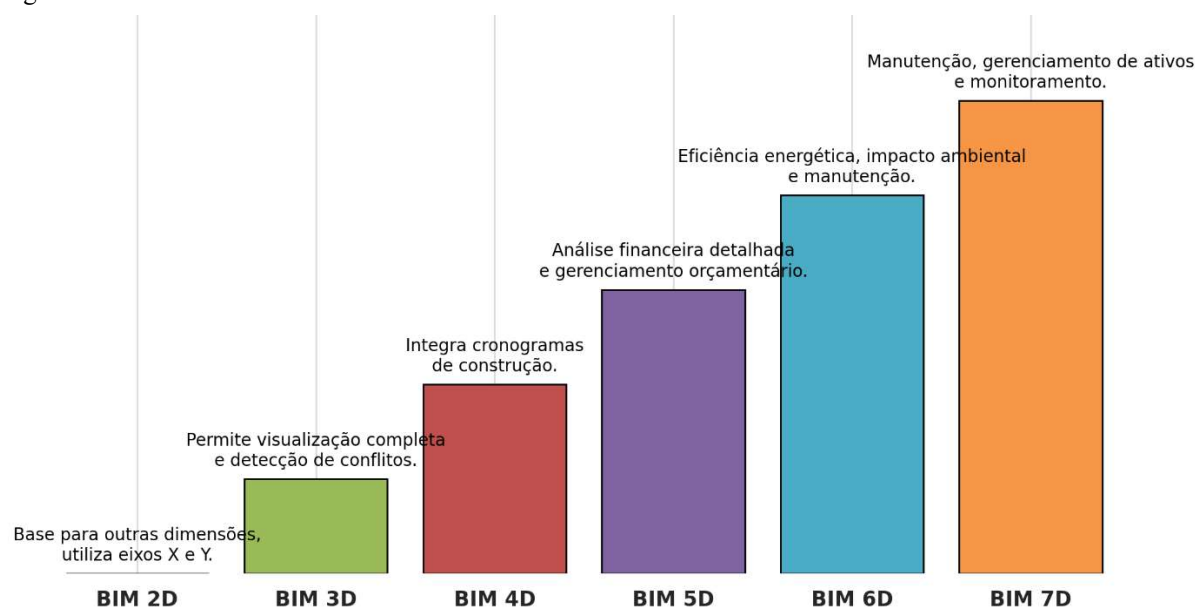
Esse uso de BIM também inclui o gerenciamento de instalações e a manutenção ao longo do ciclo de vida do edifício, auxiliando na previsão de necessidades de manutenção e na gestão eficiente dos recursos do edifício. A utilização do BIM 6D pode ajudar a minimizar o impacto ambiental e reduzir custos operacionais a longo prazo, proporcionando benefícios tanto econômicos quanto ecológicos.

O BIM 7D foca na gestão de instalações e operações ao longo do ciclo de vida do edifício, integrando informações detalhadas sobre manutenção, gerenciamento de ativos e monitoramento de desempenho. Com o BIM 7D, é possível prever necessidades de manutenção, planejar a substituição de componentes e monitorar o desempenho energético e outros aspectos operacionais do edifício.

Essa abordagem permite uma gestão mais eficiente dos recursos e prolonga a vida útil das instalações, promovendo uma operação mais sustentável e econômica. A integração de dados no BIM 7D inclui a utilização de ferramentas como o *software* Autodesk Revit® para análise energética e gerenciamento de instalações, possibilitando que proprietários e gestores de edifícios tenham uma visão abrangente e detalhada dos ativos.

A Figura 7 abaixo diagrama as dimensões BIM e suas principais características.

Figura 7 - Dimensões BIM.



Fonte: Autor (2024)

2.4.3 *Level of Development* (LOD), ou Nível de Desenvolvimento

Consoante Catelani (2016),

“LOD é uma referência que possibilita que os agentes atuantes na indústria da construção civil especifiquem e articulem, com clareza, os conteúdos e níveis de confiabilidade de modelos BIM, nos vários estágios do processo de projeto e construção.” (CATELANI, 2016, pág. 113).

Em outras palavras, o conceito de LOD refere-se a um padrão que define a quantidade de detalhe e precisão que um modelo de informação da construção deve conter em diferentes fases do projeto, sendo uma ferramenta crucial para assegurar que todos os envolvidos no projeto, desde arquitetos e engenheiros até construtores e gestores de instalações, compreendam o nível de desenvolvimento das informações do modelo.

O *American Institute of Architects* (AIA) organiza os diferentes níveis de desenvolvimento consoante o Quadro 3 abaixo:

Quadro 3 - Os diferentes níveis de LOD segundo a AIA e seus respectivos usos autorizados.

LOD	Definição	Usos autorizados
100	Equivale ao Projeto Conceitual. O modelo consistirá das massas totais das edificações.	Análises, estimativas de custos e planejamento.
200	Similar ao projeto esquemático. O modelo consistirá de sistemas genéricos ou montagens com quantidades aproximadas, tamanhos, forma, localização e orientação.	Análises, estimativas de custos e planejamento.
300	Os elementos do modelo definirão as montagens de modo preciso em termos de quantidades, tamanhos, forma, localização e orientação. Informações não geométricas podem ser relacionadas aos objetos.	Construção, análises, estimativas de custos e planejamento.

LOD	Definição	Usos autorizados
400	Os elementos do Modelo definirão as montagens de modo preciso em termos de quantidades, tamanhos, forma, localização e orientação, e incluirão informações completas e detalhadas sobre fabricação e montagens. Informações não-geométricas podem ser relacionadas aos objetos.	Construção, análises, estimativas de custos e planejamento.
500	Equivale ao <i>Us-built</i> . O nível final de desenvolvimento que representa o projeto como ele foi realmente construído. O modelo servirá para a gestão da manutenção e da operação da edificação ou instalação.	-

Fonte: AIA (2013) apud Catelani (2016) (adaptado).

2.4.4 Principais usos do BIM

Catelani (2016) divide o uso da modelagem da informação da construção em dois tipos de uso pelas incorporadoras: usos principais e usos secundários. Os usos principais concentram os esforços envolvidos nas fases de coordenação especial em 3D do empreendimento, produção de projetos autorais, análise do comportamento estrutural da edificação, revisão dos projetos elaborados, planejamento 4D, isto é, incorporando informações do cronograma de obra, e estimativas de custos, sendo estes dois últimos empregos os mais sensíveis, uma vez que perpassam quase todas as etapas do empreendimento, divididas por Catelani (2016) em Operação, Construção, Projeto e Planejamento.

Já os usos secundários do BIM concentram os esforços nas análises complementares de cada etapa do empreendimento, como análise do sistema de construção, na fase de Operação; planejamento e controle 3D, na fase de Construção; análise luminotécnica, na fase de Projeto e modelagem das condições existentes, na fase de Planejamento e em todas as outras. Esses usos estão agrupados na Figura 8 a seguir, que ilustra o que foi citado.

Figura 8 - Usos principais e secundários do BIM.



Fonte: Catelani (2016).

2.4.5 Principais *softwares* BIM da atualidade

O mercado atualmente dispõe de inúmeras soluções em se tratando de sistemas BIM. Empresas como Autodesk, Bentley e Graphisoft se destacam em virtude de sua tradicionalidade e de seus *softwares* amplamente difundidos no contexto da engenharia civil. O Quadro 4 abaixo lista alguns dos *softwares* mais conhecidos do mercado, bem como as empresas desenvolvedoras de cada um e os principais diferenciais de cada solução.

Quadro 4 - Principais *softwares* BIM disponíveis no mercado.

Nome do <i>software</i>	Empresa desenvolvedora	Principais diferenciais
Revit	Autodesk	Modelagem 3D integrada com análise de energia, estrutura e MEP (<i>Mechanical, Electrical and Plumbing</i>); isto é, projetos mecânicos, elétricos e de hidráulica); colaboração em tempo real.
ArchiCAD	Graphisoft	Ferramentas de design intuitivas, integração com soluções de realidade aumentada e virtual.
MicroStation	Bentley Systems	Capacidade de lidar com grandes conjuntos de dados e projetos de infraestrutura complexos.
Navisworks	Autodesk	Ferramenta de revisão de projeto, detecção de conflitos e planejamento 4D.
Vectorworks	Vectorworks, Inc.	Flexibilidade em design, BIM 2D/3D híbrido, integração com várias plataformas de <i>software</i> .
Allplan	Nemetschek	Ferramentas de engenharia estrutural e planejamento detalhado de construções.
Tekla Structures	Trimble	Especialização em modelagem estrutural detalhada e precisão em cálculos de materiais.

Nome do <i>software</i>	Empresa desenvolvedora	Principais diferenciais
BIM 360	Autodesk	Plataforma colaborativa para gestão de projetos, incluindo controle de qualidade e segurança.
Solibri Model Checker	Solibri	Análise de qualidade e verificação de conformidade de modelos BIM, detecção de conflitos e verificação de regras.
BIMx	Graphisoft	Visualização de modelos BIM em dispositivos móveis, ideal para apresentações e comunicação com clientes.
DDS-CAD	Data Design System	Especializado em projetos MEP, integração de sistemas de edifícios.
Bluebeam Revu	Bluebeam, Inc.	Ferramentas de colaboração em PDF para revisão, anotação e marcação de desenhos de construção.

Fonte: Autor (2024).

2.5 A metodologia BIM e a interoperabilidade entre as disciplinas

A interoperabilidade pode ser entendida como “a habilidade que dois ou mais sistemas ou componentes possuem de trocar informações e utilizar as informações que foram trocadas” (CATELANI, 2016, pág. 75). No contexto BIM, dentre outras definições possíveis para interoperabilidade, BSA (2012) apud Catelani (2016) afirma que:

“A interoperabilidade é a habilidade de gerenciar e comunicar produtos eletrônicos e dados de projetos entre organizações (empresas) colaboradoras e indivíduos que, em conjunto, compõem uma equipe para o desenvolvimento de projetos, contratações, construções, manutenção e sistemas de processos de negócios.” (BSA, 2012, apud CATELANI, 2016)

Nesse sentido, um ou mais *softwares* podem compartilhar informações BIM por meio de arquivos no formato IFC (*Industry Foundation Classes*), que pode ser entendido como:

“Um formato de arquivo orientado a objetos 3D, aberto, público, neutro e padronizado, que possui uma aspiração bastante ampla e ambiciosa (embora ainda não a tenha alcançado) de cobrir cada aspecto do projeto, contratação, fabricação, construção, montagem, operação e manutenção na indústria da construção civil.” (CATELANI, 2016, pág. 77)

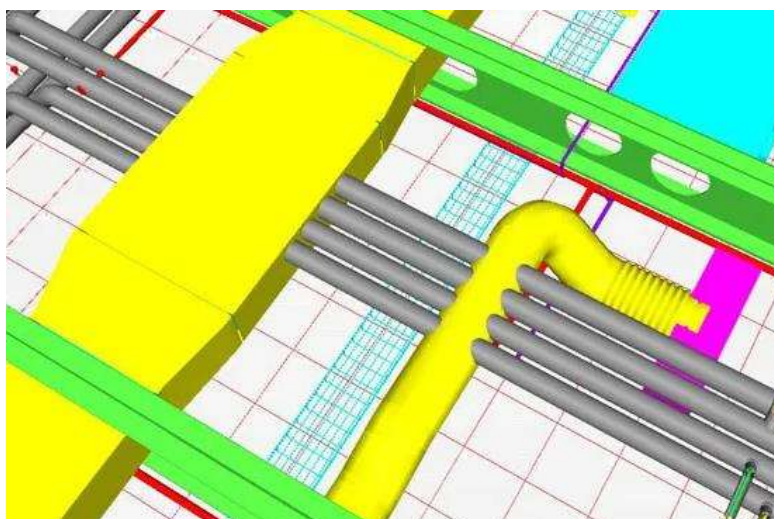
Ao longo dos anos, o formato IFC, responsável por permitir a troca de informações entre vários *softwares* BIM, veio sofrendo atualizações e melhorias cada vez mais complexas que conseguem manter um bom grau de informações mesmo na interação entre *softwares* de diferentes fabricantes (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

2.6 Compatibilização de projetos

O processo tradicional de elaboração de projetos ocorre de modo fragmentado: as incorporadoras, construtoras ou escritórios de engenharia contratam profissionais das especialidades de projeto que são pertinentes à proposta do empreendimento que será executado, em que cada disciplina é elaborada de modo separado das outras. Ao final, o tradicional processo CAD 2D utiliza da superposição de projetos para identificação das possíveis incompatibilidades entre as disciplinas. Esse processo gera revisões de projeto que, não raro, não promovem uma adequada compatibilização das disciplinas e geram inúmeros retrabalhos para a obra, sobretudo quando os projetos são elaborados em diferentes etapas executivas do empreendimento.

O emprego da metodologia BIM na compatibilização entre projetos de engenharia civil tem se apresentado como uma das possibilidades mais vantajosas desta tecnologia no tocante à compatibilização eficaz entre os projetos. Com a visualização 3D da construção, o projetista e o profissional de campo podem, ambos, observar com maior detalhe as nuances da construção, observando se há algum aspecto incompatível entre as disciplinas com muito mais clareza já na fase de projetos, eximindo a obra de grande parte das detecções de conflito na fase executiva, otimizando o processo de trabalho. A fig abaixo exemplifica o uso dos *softwares* BIM na identificação de incompatibilidades de projeto.

Figura 9 - Detecção de conflitos no *software* Autodesk Navisworks ®.



Fonte: Carlos Terol (2020)¹

¹ Disponível em: <https://globalcad.co.uk/how-to-remove-false-positive-clashes-in-navisworks/>. Acesso em: 06 ago. 2024.

A compatibilização de projetos em BIM refere-se à coordenação integrada dos modelos digitais das diferentes disciplinas envolvidas, como arquitetura, estruturas e instalações MEP (mecânicas, elétricas e hidráulicas), dentro de um ambiente tridimensional. Este processo permite a detecção e resolução de conflitos antes da fase de construção, reduzindo assim os retrabalhos e os custos adicionais. De acordo com Eastman, Sacks, Teicholz e Ghang (2021), a coordenação de projetos utilizando BIM facilita uma colaboração mais eficiente entre as equipes, promovendo uma gestão de projeto mais integrada e econômica. Eastman, Sacks, Teicholz e Ghang (2021) enfatiza que o BIM proporciona uma visualização detalhada e precisa, fundamental para a identificação precoce de conflitos e para garantir a integridade do projeto desde as fases iniciais até a entrega final.

3 METODOLOGIA – MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para a realização deste trabalho seguiu uma abordagem qualitativa consoante método proposto por Gil (2022). Nesse âmbito, seguiu-se a realização de uma revisão sistemática de literatura (RSL) no intuito de discutir as pesquisas mais recentes sobre a temática da aplicação do BIM na redução dos custos em virtude da compatibilização de projetos frente à metodologia CAD 2D.

Segundo Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl e Brennan (2022), revisão sistemática de literatura pode ser definida como “uma revisão que usa métodos explícitos e sistemáticos para agrupar e sintetizar os resultados dos estudos que abordam uma questão claramente formulada”. Além disso, por meio da revisão sistemática é possível analisar os resultados e a aplicabilidade dos resultados no contexto geral da pesquisa abordada.

Com base nisso, foram consultadas as seções “Métodos”, “Resultados” e “Discussões” presentes no *checklist* do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses 2020* (PRISMA 2020), ou simplesmente protocolo PRISMA 2020, para estabelecimento dos critérios de pesquisa das publicações consultadas, critérios de análise e critérios de interpretação. No Quadro 5 abaixo, estão especificados os critérios segundo itens pertinentes do *checklist* do protocolo PRISMA 2020:

Quadro 5 - Itens do checklist PRISMA 2020 utilizados na pesquisa.

Seção e tópico	Item do checklist PRISMA 2020	Item da lista de checagem
MÉTODOS		
Critérios de elegibilidade	5	Especifique critérios de inclusão e exclusão e como os estudos foram agrupados nas sumarizações.
Fontes de informação	6	Especifique todas as bases de dados, repositórios de registros, sites, listas de referências e outras fontes pesquisadas ou consultadas para identificar estudos.
Estratégia de busca	7	Apresente as estratégias de busca completas para todas as bases de dados, repositórios de registros e sites, incluindo filtros ou limites usados.
Processo de seleção	8	Especifique os métodos usados para decidir se um estudo atendeu aos critérios de inclusão da revisão.
Processo de coleta de dados	9	Especifique os métodos usados para coletar dados das publicações.
Lista de dados	10a	Liste e defina todos os desfechos cujos dados foram coletados.
Métodos de síntese	13a	Descreva os processos usados para decidir quais estudos foram elegíveis para cada síntese.
	13b	Descreva métodos demandados para preparar os dados para apresentação ou síntese, como manejo de dados faltantes nas estatísticas de sumarização ou conversões de dados.

Seção e tópico	Item do <i>checklist</i> PRISMA 2020	Item da lista de checagem
	13c	Descreva métodos usados para tabular ou ilustrar visualmente os resultados de estudos individuais e sínteses.
	13d	Descreva métodos usados para sumarizar os resultados e apresente justificativa para a(s) escolha(s).
RESULTADOS		
Seleção dos estudos	16a	Descreva os resultados do processo de busca e seleção, desde o número de registros identificados na busca até o número de estudos incluídos na revisão, idealmente por meio de um fluxograma.
	16b	Cite estudos que parecem cumprir os critérios de inclusão, mas que foram excluídos e explique por que foram excluídos.
Características dos estudos	17	Cite cada estudo incluído e apresente suas características.
Resultados das sínteses	20a	Para cada síntese, resuma brevemente as características e o risco de viés entre os estudos contribuintes.
	20b	Apresente os resultados de todas as sumarizações estatísticas realizadas.
	20c	Apresente os resultados de todas as investigações das possíveis causas de heterogeneidade entre os resultados do estudo.
	20d	Apresente os resultados de todas as análises de sensibilidade conduzidas para avaliar a robustez dos resultados sumarizados.
DISCUSSÃO		
Discussão	23a	Forneça uma interpretação geral dos resultados no contexto de outras evidências.
	23b	Discuta limitações das evidências incluídas na revisão.
	23c	Discuta limitações dos processos empregados na revisão.
	23d	Discuta as implicações dos resultados para a prática, política e pesquisas futuras.

Fonte: Page, McKenzie, Bossuyt, Boutron, Hoffmann, Mulrow, Shamseer, Tetzlaff, Akl e Brennan (2022).

3.1 Protocolos de pesquisa

Os parágrafos seguintes nesta seção delimitam os itens do *checklist* PRISMA 2020 para a aplicação direta na presente monografia.

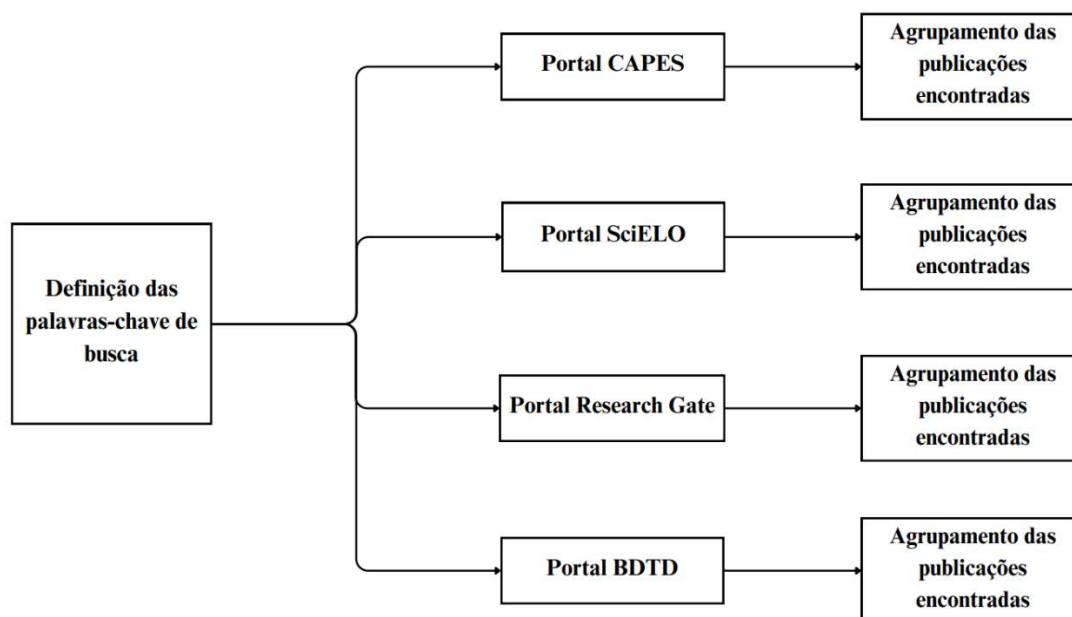
Critérios de elegibilidade: foram pesquisados artigos, teses e dissertações para a composição deste estudo, sendo estes publicados entre os anos 2018 e 2024. O enfoque buscado foi o emprego da metodologia BIM na redução de custos de obra decorrentes da compatibilização entre as disciplinas de arquitetura, estrutura, instalações elétricas, hidrossanitárias e de climatização frente à metodologia CAD 2D. Foram escolhidos trabalhos apenas em língua portuguesa.

Fontes de informação: Os portais de busca utilizados foram o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Portal de Periódicos da

CAPES), a *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), o portal *Research Gate* e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

Estratégias de busca: os termos de busca utilizados foram “BIM”, “compatibilização de projetos” e “custo”. Os operadores booleanos utilizados foram “*and*” (e) e “*or*” (ou). A Figura 10 abaixo ilustra a estratégia de busca adotada:

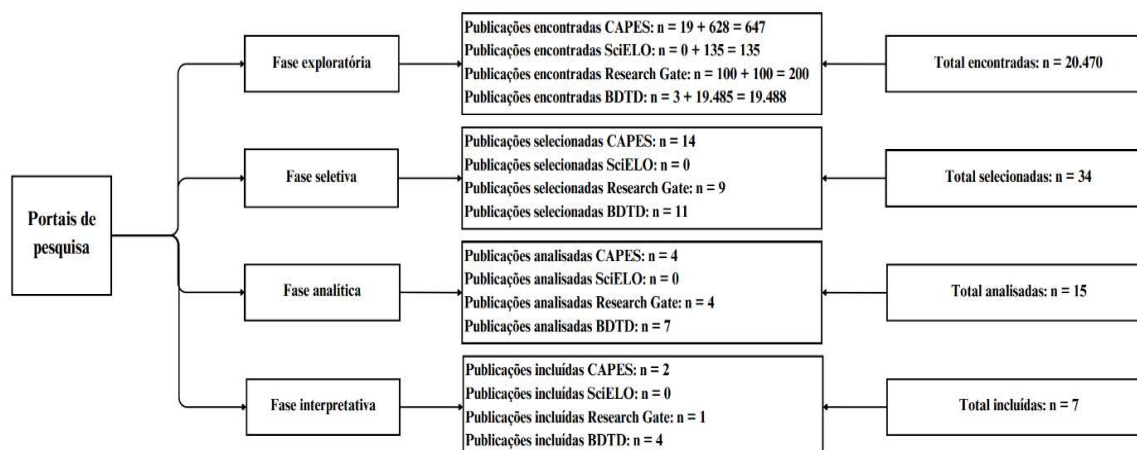
Figura 10 - Estratégia de busca das publicações.



Fonte: Autor (2024).

Processo de seleção: foi utilizada o processo de quatro etapas de leitura proposto por Gil (2022): leitura exploratória, seletiva, analítica e interpretativa, em que foi observado se os trabalhos escolhidos atendiam à temática principal da pesquisa e suas contribuições para a discussão. O fluxograma apresentado na Figura 11 abaixo ilustra esse processo de seleção:

Figura 11 - Fluxograma de pesquisa.



Fonte: Autor (2024).

Portanto, foram encontradas 20.470 pesquisas que obedeciam às palavras-chave de pesquisa “BIM”, “compatibilização de projetos” e “custo”, combinadas entre si pelos operadores booleanos “*and*” (e) e “*or*” (ou). No fluxograma exposto na Figura 11, as pesquisas feitas com o operador “*and*” aparecem primeiro na parcela da soma e as pesquisas feitas com o operador “*or*” aparecem por último (exemplo: $n = 19 + 628 = 647$, isto é: 19 pesquisas resultantes da busca com o operador “*and*” e 628 pesquisas resultantes da busca com o operador “*or*”). Destas, 34 pesquisas foram selecionadas, 15 foram analisadas e 7 foram escolhidas para inclusão no presente trabalho.

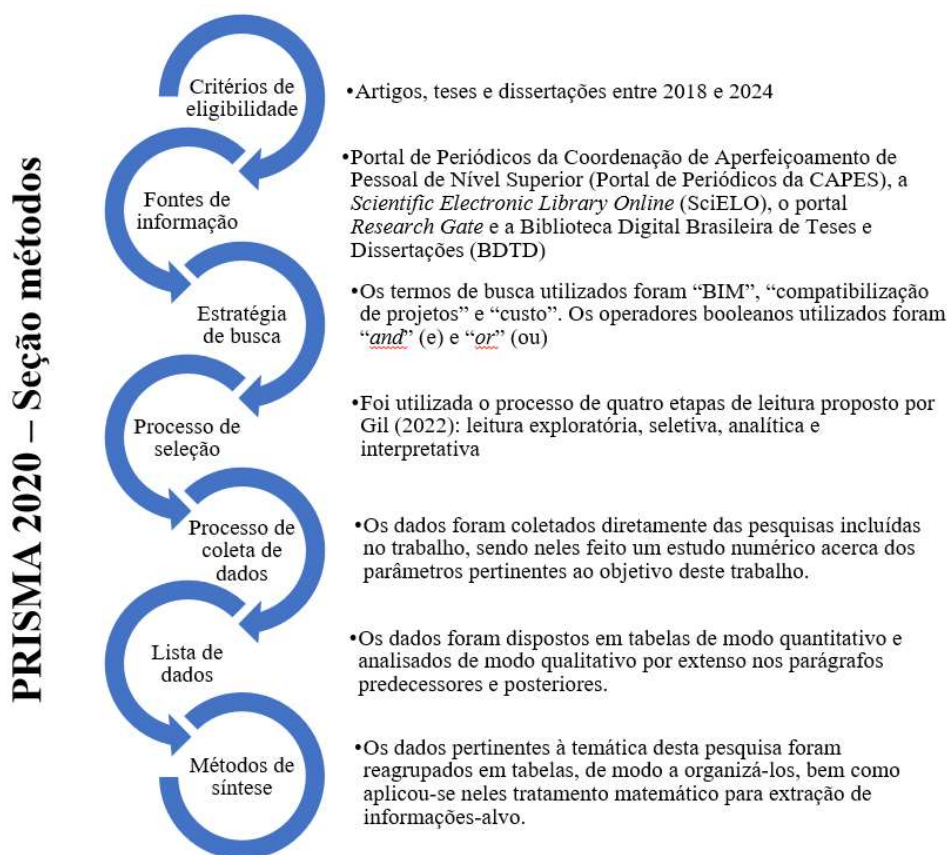
Processo de coleta de dados: os dados foram coletados diretamente das pesquisas incluídas no trabalho, sendo neles feito um estudo numérico acerca dos parâmetros pertinentes ao objetivo deste trabalho.

Lista de dados: nas pesquisas incluídas nesta revisão sistemática, os autores lançaram mão de estudos de caso e exemplos reais da influência da compatibilização por meio de ferramentas BIM no custo das obras estudadas. Os dados foram dispostos em tabelas de modo quantitativo e analisados de modo qualitativo por extenso nos parágrafos predecessores e posteriores.

Métodos de síntese: os dados pertinentes à temática desta pesquisa foram reagrupados em tabelas, de modo a organizá-los, bem como aplicou-se neles tratamento matemático para extração de informações-alvo.

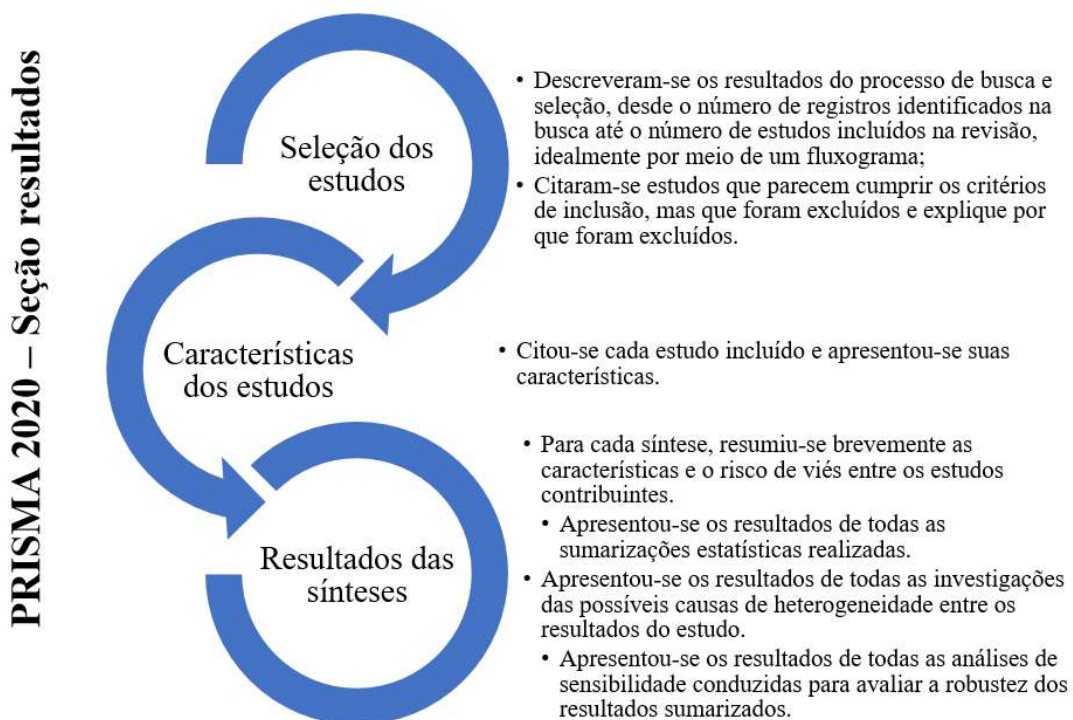
A Figura 12 abaixo sintetiza o processo

Figura 12 - Fluxograma de seleção dos trabalhos.



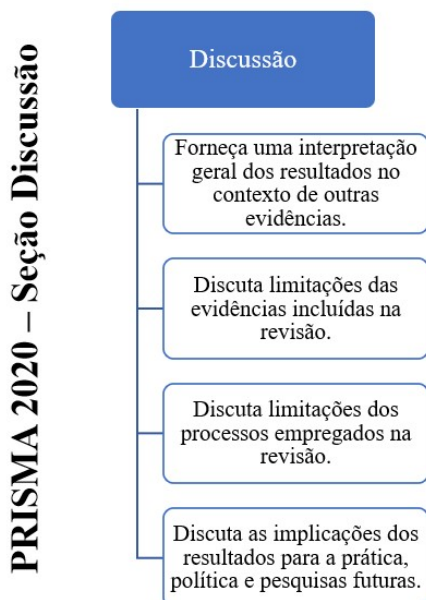
Estudos de caso: foi realizada uma análise qualitativa de estudos de caso das pesquisas incluídas neste trabalho, selecionados com base em critérios de relevância e confiabilidade. A análise comparativa desses casos visa estudar dados e resultados pertinentes ao tema de estudo da presente monografia, contribuindo para uma compreensão aprofundada do tema e fundamentação das conclusões. A Figura 13 e a Figura 14 abaixo diagramam o processo de síntese dos resultados encontrados e o processo de discussão destes, respectivamente.

Figura 13 - Fluxograma do estudo dos resultados obtidos.



Fonte: Autor (2024).

Figura 14 - Fluxograma de discussão dos resultados.



Fonte: Autor (2024).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Pesquisadas selecionadas

Após a primeira etapa de busca e análise das pesquisas pertinentes ao tema “os benefícios do uso do BIM na redução dos custos de obra decorrentes da não compatibilidade entre projetos de engenharia”, foram selecionadas 34 pesquisas com potencial de correspondência ao eixo temático escolhido. Dessas 34 pesquisas, 7 delas se adequaram à proposta temática, sendo estas lidas e interpretadas para compor esta revisão. O Quadro 6 em seguida elenca essas pesquisas.

Quadro 6 - Relação das pesquisas escolhidas.

Base de dados consultada	Título do documento	Tipo	Autores	Ano de publicação	Citação no texto
CAPES	Compatibilização de projeto com auxílio do BIM: análise da redução de custos em uma obra de habitação de interesse social	Artigo científico	Gleudson Martins da Costa, Fernanda Rafaella de Souza Leite, Inêz Prazeres Virgínio e Elcio Lyndon da Silva Júnior	2022	Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022)
	Gestão de projetos da construção civil com a metodologia BIM aplicada: Estudo de caso	Artigo científico	Cristiano Saad Travassos do Carmo, Guilherme Zamboni de Almeida, Leonardo Laurentino da Souza	2018	Carmo, Almeida e Souza (2018)
Research Gate	Detecção de incompatibilidades de projetos entre metodologia convencional 2D e BIM: Um estudo comparativo	Artigo científico	Ana Carolina Fernandes Maciel, Dogmar Antonio de Souza Junior, Pedro Henrique Oliveira	2022	Maciel, Souza, Junior e Oliveira (2022)
BDTD	A análise da representação gráfica de projetos civis com “CAD”, “BIM” e “RA” para identificar as interferências de obra em projetos complementares.	Dissertação de Mestrado	Lucas Francisco Martins	2018	Martins (2018)
	Estimativas de custos em fases iniciais de projetos a partir de modelos BIM e programação generativa	Dissertação de Mestrado	Bruno Leão de Brito	2018	Brito (2018)
	Atribuição de informações orçamentárias em modelos de construção BIM	Dissertação de Mestrado	Hugo Dalago Salgado	2021	Salgado (2021)

Base de dados consultada	Título do documento	Tipo	Autores	Ano de publicação	Citação no texto
	UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM PARA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS E PLANEJAMENTO DE OBRAS: estudo de caso em um complexo de educação infantil no município de Vertentes-PE	Trabalho de Conclusão de Curso	Maria Eulália das Chagas Lima	2022	Lima (2022)

Fonte: Autor (2024).

4.2 Características das pesquisas selecionadas

As pesquisas incluídas neste trabalho abordam tanto aspectos teóricos acerca da influência da metodologia BIM no processo de compatibilização de projetos e conseguinte redução dos custos de obra com retrabalhos como também uma análise numérica do impacto que esta metodologia pode causar no orçamento de uma obra. Também abordam a questão das vantagens e da precisão obtida com o BIM para o levantamento de quantitativos e assertividade nos orçamentos, viés este que revela o potencial de precisão do BIM na economia de custos advinda de retrabalhos.

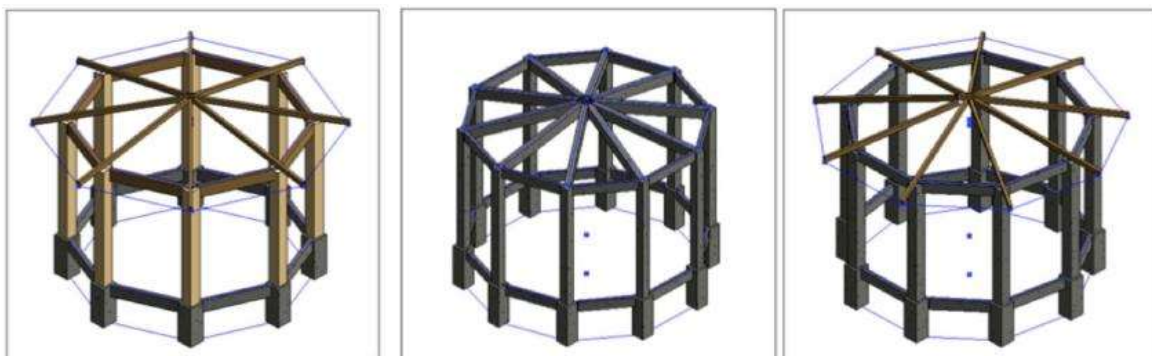
4.3 Síntese dos resultados e discussões

4.3.1 A contribuição da metodologia BIM na estimativa de custos na fase de projetos

O estudo conduzido por Brito (2018) analisou 3 estudos de caso acerca do tema do trabalho, “Desenvolvimento, proposta e avaliação de método para estimativas de custo a partir de programação generativa associada ao BIM em fases iniciais de projeto”. Os estudos de caso focaram na aplicação de programação generativa e BIM para estimativas de custo em diferentes tipos de edificações.

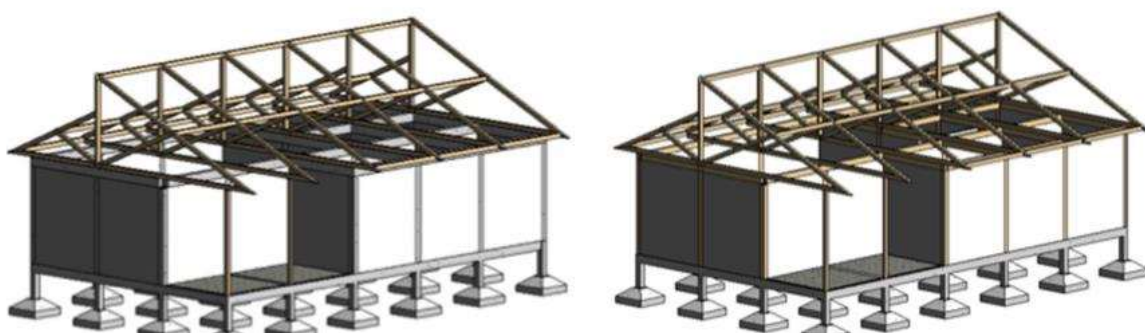
O Estudo de Caso 01 (Figura 15 abaixo) analisou um quiosque, testando 36 cenários e identificando a solução mais econômica com raio de 3,0 metros, concreto e madeira. O Estudo de Caso 02 (Figura 16 abaixo) avaliou uma edificação mais complexa, explorando 18 cenários variados, consumindo 13 horas de trabalho para determinar a configuração mais eficiente. O Estudo de Caso 03 (Figura 17 abaixo) comparou os custos de uma clínica e uma torre residencial, validando a precisão do método com um erro percentual aceitável e destacando a eficácia na análise detalhada de custos por etapas de obra, sendo este estudo o mais interessante para a tratativa da presente revisão sistemática de literatura.

Figura 15 - Estudo de caso 01.



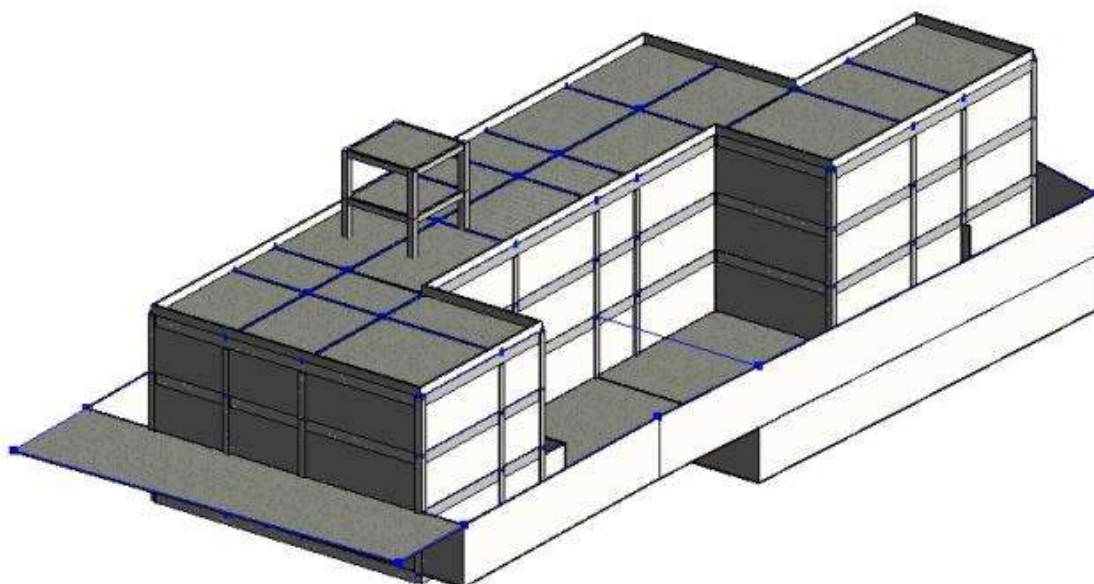
Fonte: Brito (2018)

Figura 16 - Estudo de caso 02.



Fonte: Brito (2018)

Figura 17 - Estudo de caso 03.



Fonte: Brito (2018)

A pesquisa de Brito (2018) estabeleceu uma estrutura lógica robusta que possibilita a geração de diferentes alternativas de projeto baseadas em critérios de custo, utilizando programação generativa. Essa estrutura lógica abrange a definição de parâmetros de entrada, a

criação da geometria da edificação, o pré-dimensionamento das peças estruturais e a extração de quantitativos. A aplicação dessa estrutura facilitou a criação de modelos BIM e a avaliação de múltiplos cenários, o que proporcionou uma base sólida para a tomada de decisões nas fases iniciais de projeto. A abordagem permitiu uma análise abrangente das alternativas de projeto, fornecendo informações detalhadas para embasar decisões técnicas e financeiras.

Ademais, a pesquisa de Brito (2018) definiu parâmetros específicos que possibilitaram a obtenção de informações detalhadas de custo em fases iniciais de projeto, incluindo variáveis como o raio da circunferência que circunscreve o polígono regular da planta baixa, o número de pilares, os níveis de fundação e do térreo, a altura da base da cobertura, entre outros. A definição desses parâmetros foi crucial para gerar estimativas de custo mais precisas, essenciais para o planejamento e controle orçamentário. Brito (2018) demonstrou que a utilização desses parâmetros na programação generativa permite a criação de modelos detalhados que refletem com precisão os custos envolvidos na construção.

Desse modo, os resultados indicaram obtidos por Brito (2018) mostram que o método é viável e útil para a geração de estimativas de custo em fases iniciais de projeto. Nesse sentido, a capacidade de gerar modelos detalhados e precisos a partir da programação generativa associada ao BIM proporcionou informações valiosas sobre o consumo de materiais e custos, auxiliando arquitetos e engenheiros a tomarem decisões fundamentadas e seguras.

A pesquisa de Brito (2018), portanto, reforça que o BIM, ao gerar automaticamente quantitativos a partir de modelos paramétricos, proporciona estimativas de custo mais precisas. Isso contrasta significativamente com a metodologia CAD 2D, que frequentemente resulta em inconsistências e conflitos identificados apenas durante a fase de construção, levando a retrabalhos e custos adicionais (EASTMAN; SACKS; TEICHOLZ; GHANG, 2021). A pesquisa analisada mostra que a programação generativa aplicada ao BIM facilita a criação de múltiplos cenários e a avaliação de alternativas de projeto, otimizando a seleção da solução mais econômica, contrastando com a metodologia CAD 2D, que requer uma integração manual das diferentes disciplinas, em que não raro há erros e omissões no processo.

Brito (2018) expõe uma comparação numérica entre o orçamento realizado pela construtora (custo orçado) de modo manual e o orçamento estimado pela metodologia BIM (custo estimado) para o empreendimento do estudo de caso 03. A redução do custo estimado encontrada foi de 13,29% em relação ao custo orçado, conforme a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Comparação entre orçamento das etapas e valor alcançado pelo método proposto no estudo de caso 03

Etapa	Custo Orçado (empreendimento)	Custo Estimado (método proposto)	Erro percentual
Superestrutura	R\$ 872.523,45	R\$ 727.370,72	-16,64%
Alvenarias	R\$ 289.731,95	R\$ 271.433,76	-6,32%
Revestimentos externos	R\$ 54.182,79	R\$ 47.897,82	-11,60%
Pintura	R\$ 142.624,83	R\$ 151.352,18	6,12%
Impermeabilização	R\$ 106.635,63	R\$ 72.784,47	-31,74%
TOTAL	R\$ 1.465.698,65	R\$ 1.270.838,95	-13,29%

Fonte: Brito (2018), adaptado.

Ademais, os estudos de caso apresentados por Brito (2018) demonstram que a aplicação da metodologia BIM com programação generativa em diferentes tipos de edificações resulta em reduções substanciais de custos de obra, destacando a flexibilidade e a robustez do método, confirmando que, através de modelos detalhados e análises automatizadas, é possível minimizar as surpresas durante a construção, assegurando que o projeto executado esteja alinhado com as estimativas iniciais de custo e prazo.

4.3.2 O impacto no custo final de obra da definição dos parâmetros de orçamentação na fase inicial de projeto por meio do BIM

O trabalho conduzido por Salgado (2018) buscou avaliar a viabilidade e as vantagens da metodologia Building Information Modeling (BIM) 5D em comparação aos métodos tradicionais baseados em CAD 2D, especialmente no que diz respeito à compatibilização de projetos e redução de custos de obra. O estudo de caso foi realizado acerca de um empreendimento residencial composto por 27 pavimentos e 303 unidades habitacionais compostas por estúdios a partir de 16m² e apartamentos até 46m² (Figura 18 abaixo), cujo levantamento de dados quantitativos foi realizado pela Construtora responsável pelo projeto por meio da maneira tradicional, isto é, “por meio de representações gráficas em 2D, sendo estas visualizadas de maneira virtual ou, até mesmo, de maneira física utilizado o projeto impresso e o escalímetro” (Salgado, 2018).

Figura 18 - Empreendimento escolhido por Salgado (2018).



Fonte: Salgado (2018).

No item 6.4 de seu trabalho, Salgado (2018) oferece uma análise minuciosa das vantagens e limitações do modelo orçamentário proposto, na modalidade BIM 5D, em comparação com os métodos tradicionais CAD 2D utilizados pela empresa. A avaliação de Salgado (2018) é tecida em torno de três principais eixos: escopo, custo e tempo, cujo eixo de interesse desta RSL é o custo, em que a pesquisa do autor fornece uma base sólida para entender as diferenças significativas entre os métodos, destacando os benefícios potenciais da metodologia BIM em relação ao CAD 2D tradicional.

O modelo proposto por Salgado (2018) pelo procedimento BIM incluiu um total de 1.012 itens, enquanto a estimativa de custos da empresa pelo método tradicional considerou apenas 296 itens. Tal discrepância de aproximadamente 342% é diretamente relacionada à atribuição orçamentária detalhada realizada durante a modelagem dos elementos no BIM, uma vez que o orçamento tradicional trata a execução das instalações hidráulicas como um único item, ao passo que o modelo BIM segmenta o sistema hidráulico em múltiplos itens, como água

fria, água quente, reuso, esgoto, gordura, dreno HVAC e águas pluviais. Essa segmentação permite uma compreensão mais granular dos custos associados a cada componente do projeto, facilitando a identificação de oportunidades de otimização e controle mais rigoroso do orçamento.

Em termos de custo, o procedimento proposto resultou em um aumento de aproximadamente 3,64% no custo final do empreendimento em comparação com o método tradicional. Esta dilatação de custo é particularmente significativa nos serviços relacionados a sistemas complexos, como tubulações, AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) e sistemas elétricos. A Tabela 2 abaixo ilustra essa comparação de custos, destacando que o sistema de serviços, por exemplo, teve um custo de R\$ 6.842.370,58 no modelo BIM, enquanto no método tradicional o custo foi de R\$ 3.315.972,09.

Tabela 2 - Comparação de custos

Item	Custo Modelo Tradicional (R\$)	Custo Modelo BIM (R\$)	% variação percentual
Despesas iniciais	R\$ 6.921.907,98	R\$ 6.919.608,23	-0,03%
Canteiro de obras	R\$ 547.910,05	R\$ 467.649,68	-14,65%
Subestrutura	R\$ 3.089.685,18	R\$ 3.243.347,64	4,97%
Estrutura envoltória	R\$ 12.675.888,71	R\$ 10.578.354,82	-16,55%
Interiores	R\$ 7.343.228,29	R\$ 7.475.964,46	1,81%
Sistema de serviços	R\$ 3.315.972,09	R\$ 6.842.370,58	106,35%
Equipamento e mobiliário	R\$ 2.443.776,61	R\$ 2.135.232,12	-12,63%
Total	R\$ 36.338.368,91	R\$ 37.662.527,53	3,64%

Fonte: Salgado (2018), adaptado.

Essa variação é atribuída ao maior detalhamento e precisão na quantificação e especificação dos itens no modelo BIM, que permite uma estimativa mais realista e abrangente dos custos envolvidos, minimizando os riscos financeiros e operacionais associados a desvios orçamentários. A redução substancial do tempo necessário para a orçamentação permite que os profissionais se concentrem em atividades mais complexas e estratégicas, melhorando a qualidade e a assertividade das decisões tomadas durante o planejamento e execução do projeto.

4.3.3 Detecção de incompatibilidades de projeto

Lima (2022) aborda o uso do *software* Autodesk Navisworks[®] para detecção das incompatibilidades de projeto na fase de projeto, isto é, na etapa anterior à elaboração do orçamento do empreendimento, que se trata de um complexo educacional infantil na cidade de Vertentes, no estado de Pernambuco. O *software* Navisworks[®] destacou as falhas em cores no

modelo 3D, facilitando a identificação e correção de erros, sendo que a maioria dos erros identificados envolveu sobreposição de famílias e objetos passando por janelas ou portas.

Ademais, os projetos complementares (estrutural, hidrossanitário e elétrico) foram desenvolvidos no *software* Autodesk Revit ®, permitindo uma integração precisa e compatibilização eficiente desde o início, integração esta que não seria possível de forma tão eficiente utilizando o CAD 2D, em que os projetos são geralmente desenvolvidos separadamente, aumentando o risco de incompatibilidades e retrabalhos. Lima (2022), ao executar o orçamento apenas após a fase de compatibilização de projeto, corrobora com as conclusões tecidas por Brito (2018), que apresenta as vantagens do uso do BIM no levantamento de custos na fase de projeto.

O estudo conduzido por Maciel, Junior e Oliveira (2022) abordou a compatibilização de projetos em um projeto residencial multifamiliar de múltiplos pavimentos, de médio padrão, localizado em Uberlândia, Minas Gerais (Figura 19 abaixo). A pesquisa desenvolvida pelos autores comparou quantitativamente as incompatibilidades encontradas utilizando AutoCAD ®, Revit ® e Navisworks ®.

Figura 19 - Empreendimento modelo por Lima (2022).



Fonte: Autor (2022)

Para proceder com as análises de interferências, os elementos de cada disciplina do projeto foram verificados. Foram considerados elementos de arquitetura (portas, janelas, forros, paredes, telhado), estrutural (lajes, vigas, pilares, blocos de fundação) e hidrossanitário (tubulações, dispositivos hidráulicos). As incompatibilidades foram analisadas com base em duas condições: incompatibilidades que apresentassem a mesma solução foram consideradas uma única vez, e as incompatibilidades encontradas em pavimentos tipo foram contabilizadas apenas uma vez.

Os resultados das análises feitas por Maciel, Junior e Oliveira (2022) mostraram uma diferença significativa na detecção de incompatibilidades entre o método convencional em

CAD 2D e as ferramentas BIM. No CAD 2D, foram encontradas 36 incompatibilidades, enquanto no Revit[®] foram detectadas 56, e no Navisworks[®] 59 incompatibilidades. A Tabela 3 a seguir mostra estes números e a variação percentual da quantidade de incompatibilidades encontradas em relação à metodologia tradicional CAD 2D.

Tabela 3 - Incompatibilidades encontradas nas análises de Maciel, Junior e Oliveira (2022).

Disciplinas analisadas	Tipo de interferência	Número de conflitos				
		AutoCAD [®]	Revit [®]	Variação percentual em relação ao AutoCAD [®]	Navisworks [®]	Variação percentual em relação ao AutoCAD [®]
Arquitetônico x Estrutural	Janela x Viga	-	1	100,00%	1	100,00%
	Porta x Viga	-	1	100,00%	1	100,00%
Arquitetônico x Hidrossanitário	Janela x Tubulação	-	1	100,00%	1	100,00%
	Forro x Tubulação	1	1	100,00%	1	100,00%
	Telhado x Dispositivo hidráulico	-	1	100,00%	1	100,00%
Estrutural x Hidrossanitário	Pilar x Tubulação	20	23	115,00%	22	110,00%
	Viga x Tubulação	13	24	184,62%	27	207,69%
	Blocos de fundação x tubulação	-	1	100,00%	1	100,00%
	Dispositivo hidráulico x Bloco de fundação	2	3	150,00%	4	200,00%
TOTAL:		36	56	155,56%	59	163,89%

Fonte: Maciel, Junior e Oliveira (2022), adaptado.

Portanto, o *software* Autodesk Navisworks[®] foi o que apresentou o maior resultado de incompatibilidade de projeto, seguido do *software* Autodesk Revit[®]. Corroborando com o tema geral deste trabalho, a metodologia tradicional CAD 2D não conseguiu identificar tantas incompatibilidades como os *softwares* BIM, que possuem a função de *Clash Detection* (detecção de conflitos), o que geraria retrabalhos futuros e gastos adicionais na fase executiva.

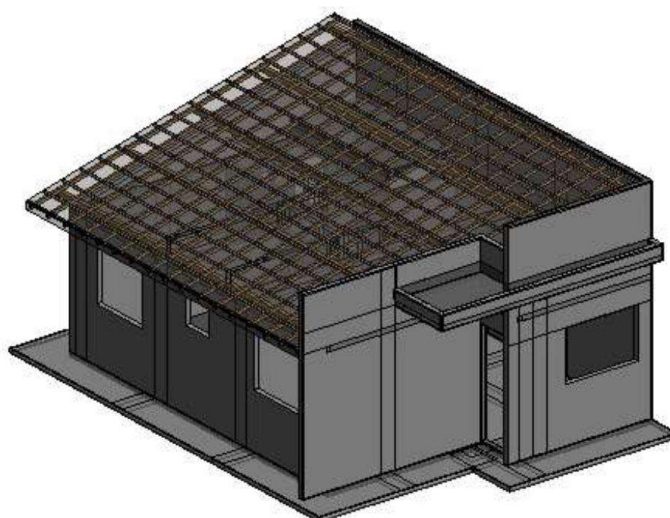
4.3.4 O impacto financeiro da compatibilização de projetos por meio do BIM em obras residenciais

O estudo conduzido por Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022) teve como enfoque avaliar o emprego de uma equipe de compatibilização e gestão de projetos que utiliza a metodologia BIM no projeto de um conjunto habitacional destinado à cidade de Timbaúba, no estado de

Pernambuco. Esta equipe lançou mão do emprego do *software* Autodesk Revit ® para a modelagem tridimensional das residências que seriam construídas no conjunto, o *software* AltoQi ® para executar o projeto de instalações elétricas.

Nesse sentido, por meio da visualização tridimensional do modelo de habitação unifamiliar escolhida para o empreendimento, foi possível, por meio do *software* Autodesk Revit ® alterar a posição de alguns elementos, tais como a caixa d'água, cuja posição inicial elevaria o pé direito da residência, aumentando, assim, o custo total da obra, bem como a observação dos dados paramétricas das telhas cerâmicas inicialmente propostas para o telhado permitiu a escolha de um modelo mais leve de telhamento, sendo as telhas de fibrocimento o modelo escolhido, por ter menor peso específico em relação às telhas cerâmicas e exigir menos madeiramento. O modelo 1 proposto antes dos estudos de compatibilização está representado na Figura 20 abaixo.

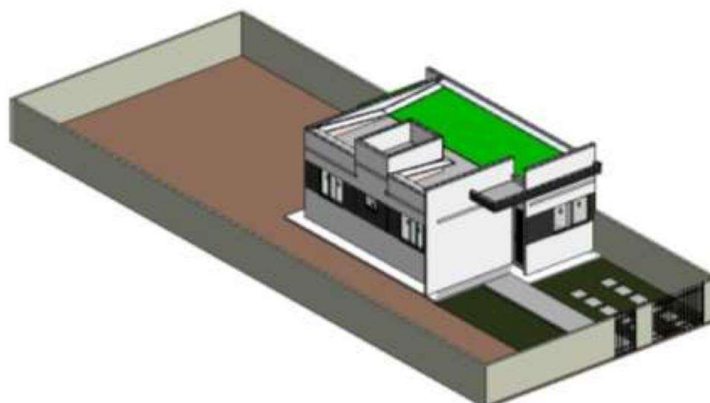
Figura 20 - Projeto inicial (modelo 1).



Fonte: Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022)

Consoante Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022), “tal observação foi possível devido a modelagem realizada no BIM” e a ferramenta BIM forneceu quantitativos instantâneos sobre o novo modelo, contribuindo com a velocidade da análise da equipe de compatibilização. O *software* utilizado pela equipe para a compatibilização entre as disciplinas de arquitetura, estrutura e projetos complementares permitiu a visualização de incompatibilidades quando da alteração da posição da caixa d'água, uma vez que possui ferramenta específica para *Clash Detection*, a exemplo do *software* Autodesk Navisworks ®. O modelo final (modelo 2) após compatibilizações está exposto na Figura 21 a seguir.

Figura 21 - Projeto final (modelo 2)



Fonte: Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022)

Com base neste estudo, Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022) pontuaram os benefícios da utilização do BIM neste projeto:

“[...] foi possível confirmar, através do BIM, que as alterações geraram uma redução no volume de concreto, madeiramento do telhado, conseqüentemente, no tempo que seria destinado para a execução da obra. Além dos custos menores, a fachada da casa alcançou uma arquitetura mais moderna a partir da utilização da platibanda.” (COSTA, LEITE, VIRGÍNIO E JÚNIOR, 2022)

Os autores ainda realizaram outros ajustes quanto a especificação de revestimentos, pinturas, altura de laje, necessidade de forro em todos os ambientes e estética da fachada, ajustes estes possibilitados pela visualização tridimensional do empreendimento. Com base na extração dos quantitativos comparados entre o Modelo 1 e o Modelo 2 gerado após a auditoria da equipe de gestão e compatibilização, Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022) chegaram à conclusão que a economia gerada foi de cerca de R\$ 2.300,00 por unidade habitacional construída. A Tabela 4 a seguir sintetiza a comparação de alguns itens de orçamento entre o Modelo 1 e o Modelo 2.

Tabela 4 - Redução quantitativa dos insumos de obra.

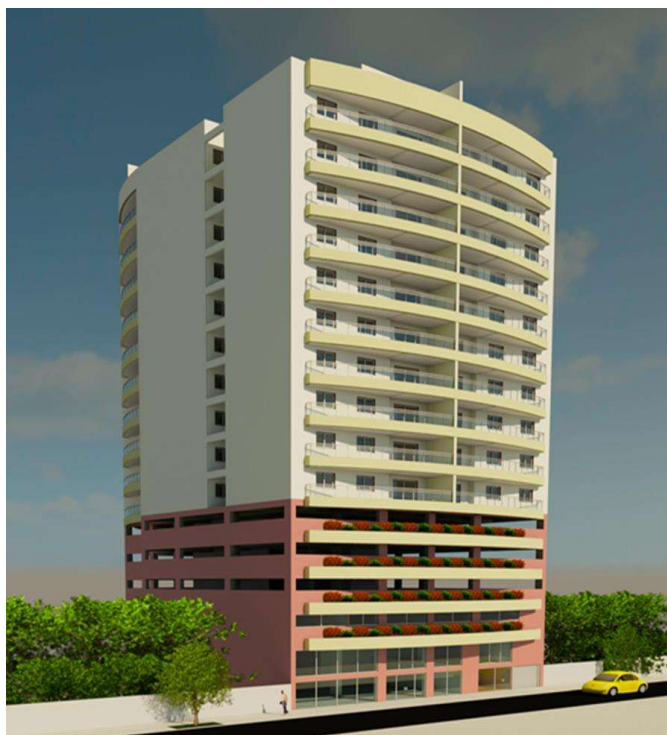
Arquitetura					
Material	Modelo 1	Modelo 2	Redução	Redução %	Unidade
Telha cerâmica x telha de fibrocimento	54,17	41,27	-12,90	-23,81%	m ²
Calha	0,00	7,74	7,74	Aumento	m
Estrutura de madeira	54,17	41,27	-12,90	-23,81%	m ²
Sanca de gesso	7,70	0,00	-7,70	-100,00%	m
Cerâmicas Paredes	22,25	14,37	-7,88	-35,42%	m ²
Elétrica					
Material	Modelo 1	Modelo 2	Redução	Redução %	Unidade
Eletroduto	73,79	70,86	-2,93	-3,97%	m
Fiação 1,5	90,50	82,80	-7,70	-8,51%	m
Fiação 2,5	161,85	156,80	-5,05	-3,12%	m
Fiação 4,5	13,80	13,60	-0,20	-1,45%	m
Estrutura + Fundação					
Material	Modelo 1	Modelo 2	Redução	Redução %	Unidade
Concreto	17,60	17,10	-0,50	-2,84%	m ³

Fonte: Costa, Leite, Virgínio e Júnior (2022), adaptado

Depreende-se, pois, da Tabela 4, que os itens que sofreram mais impactos positivos após a compatibilização foram os itens de revestimento cerâmico das paredes, estrutura de madeira e tipo de telhamento, ao passo que a consideração de calha perimetral foi o item que sofreu maior aumento.

Nesse âmbito do emprego do BIM na compatibilização de projetos e conseguinte redução de custos de obra em relação à metodologia tradicional CAD 2D, Carmo, Almeida e Souza (2018) apresentaram um estudo de caso de um empreendimento multifamiliar com 17 pavimentos e 54 unidades habitacionais com valor médio do metro quadrado de R\$ 4.900,00, localizado no município de Nilópolis, Rio de Janeiro, apresentado na Figura 22 abaixo. O estudo apresentou a análise da diferença de orçamento entre o levantamento estrutural (concreto, forma e aço) feito por meio da metodologia CAD 2D e por meio da metodologia BIM, mais precisamente pela modelagem tridimensional e parametrização da estrutura feitas no *software* Autodesk Revit ®.

Figura 22 - Imagem renderizada do objeto de estudo.



Fonte: Carmo, Almeida e Souza (2018)

A compatibilização dos projetos feita por Carmo, Almeida e Souza (2018) no *software* Navisworks ® identificou diversos conflitos que, se não resolvidos previamente, causariam transtornos e retrabalhos na obra. Foram realizados testes de compatibilização entre as disciplinas de Arquitetura e Estruturas, Arquitetura e Instalações, e Estruturas e Instalações. A primeira checagem identificou 76 conflitos, permitindo a correção dos projetos antes da execução e evitando a propagação de erros.

Paralelamente ao desenvolvimento do modelo tridimensional, o engenheiro responsável pela obra continuou a realizar os levantamentos de quantidades utilizando as representações em 2D (CAD), com o intuito de realizar uma análise comparativa com os valores obtidos a partir do modelo BIM. Os resultados apresentados por Carmo, Almeida e Souza (2018) indicaram que os quantitativos extraídos do BIM apresentaram um alto grau de confiabilidade, sendo possível extrair automaticamente a maioria dos itens levantados pelo engenheiro. Tal resultado evidencia que o BIM não apenas facilita a gestão dos projetos, mas também contribui para outras atividades técnicas específicas, como a orçamentação, eliminando erros manuais comuns e colaborando para a qualidade do orçamento.

A Tabela 5 a seguir, extraída do estudo de Carmo, Almeida e Souza (2018), expressa numericamente a redução do quantitativo de concreto a ser empregado na fase de estrutura,

comparando os levantamentos feitos em CAD 2D e em BIM 3D, ao passo que também indica a economia de R\$ 76.466,16 no orçamento geral de concreto na fase de estrutura.

Tabela 5 - Redução do quantitativo e orçamento de concreto no projeto.

Volume de concreto (m ³)		Volume de concreto excedente (m ³) do levantamento CAD 2D em relação ao levantamento feito no Revit ®	Custo do concreto excedente (R\$)	Variação percentual (%)
REVIT	DWG			
2.348,98	2.630,86	281,88	76.466,16	-10,71

Fonte: Carmo, Almeida e Souza (2018), adaptado.

4.3.5 Desafios na adoção da metodologia BIM por parte dos profissionais de engenharia nos processos de compatibilização de projetos

O estudo conduzido por Martins (2018) aborda a análise qualitativa dos testes realizados para avaliar a eficácia de diferentes interfaces de visualização de projetos: 2D CAD, 3D BIM e Realidade Aumentada (RA) em um projeto residencial unifamiliar, estabelecendo um comparativo entre estas. As conclusões tecidas por Martins (2018) indicam que a familiaridade com as ferramentas desempenha um papel crucial na eficácia da visualização e na execução das tarefas de compatibilização de projetos.

Usuários com menos experiência em programas de desenho técnico demonstraram uma preferência marcante por visualizações tridimensionais. Esses participantes relataram que a interface de Realidade Aumentada (RA) proporcionava uma melhor compreensão do volume e da estrutura dos projetos, facilitando a identificação de interferências e a análise dos projetos. Em contraste, engenheiros civis com extensa experiência no uso do CAD 2D mostraram uma forte preferência por imagens bidimensionais. Mesmo quando utilizaram visualizações em 3D, ajustaram a câmera para obter vistas paralelas, semelhantes às projeções ortogonais comuns no CAD 2D. Essa preferência reflete a influência da habituação e da familiaridade na escolha das ferramentas de visualização.

Os dados qualitativos também revelaram desafios significativos na percepção de profundidade ao utilizar CAD 2D. Os participantes frequentemente relataram dificuldades em entender a altura das feições e solicitaram vistas laterais e detalhes adicionais para uma melhor compreensão do projeto. Esse resultado é consistente com a literatura existente, que destaca que a desfragmentação do desenho em múltiplas vistas pode ser prejudicial à eficácia do trabalho. A necessidade de numerosas vistas adicionais pode tornar o processo de análise mais complexo e propenso a erros.

A análise reforça a importância de considerar as necessidades e preferências dos usuários ao selecionar ferramentas de visualização para projetos de engenharia civil. A familiaridade com as ferramentas e a preferência por visualizações tridimensionais para usuários menos experientes são fatores críticos para otimizar a eficácia e a precisão das tarefas de compatibilização. As interfaces 3D BIM e RA (realidade aumentada) mostraram-se vantajosas na melhoria da compreensão e comunicação dos projetos, abordando as limitações associadas às vistas bidimensionais do CAD 2D.

Contudo, mesmo sendo a metodologia BIM a principal ferramenta para a detecção mais precisa das incompatibilidades de projeto, Martins (2018) apresenta uma taxa de acerto das interferências entre os projetos de 71,1%, em média, na modalidade BIM; e 40% na modalidade CAD, em média, consoante Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 - Dados de acerto das interferências nas diferentes interfaces e diferentes padrões.

CAD		BIM		RA	
NBR	COG	NBR	COG	NBR	COG
42,22%	40,00%	48,89%	71,11%	37,78%	68,89%

Fonte: Martins (2018), adaptado.

Sendo NBR o padrão da variável tom de cor segundo a NBR 6493:1994 e COG as cores complementares conforme abordagem cognitiva AB.COG.

Em resumo, os resultados da revisão sistemática de literatura sugerem que a integração de ferramentas de visualização tridimensional pode contribuir significativamente para a eficiência e precisão na compatibilização de projetos na engenharia civil, destacando a necessidade de adaptação e treinamento contínuo para os profissionais do setor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Considerações acerca da presente estudo

A presente revisão sistemática de literatura abordou a temática do emprego da metodologia BIM na compatibilização entre disciplinas de engenharia civil com enfoque na economia de custos no orçamento final de obra decorrentes desse processo. Os estudos incluídos nesta revisão sistemática de literatura permitiram um maior entendimento acerca do real impacto no BIM no orçamento das obras, destacando seu caráter benéfico para o mercado AEC.

Para esta RSL, foram considerados os documentos científicos elaborados entre os anos de 2018 e 2024, sendo estes colhidos no Portal de Periódicos da CAPES, na Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações e no portal Research Gate, sendo considerados os trabalhos elaborados no Brasil. Os resultados das pesquisas consultadas mostraram que o emprego da metodologia BIM na compatibilização de projetos traz uma assertividade maior no levantamento de quantitativos na fase de projeto se comparada com a metodologia tradicional CAD 2D. A análise também revelou que o BIM, especialmente em plataformas como Autodesk Revit ® e Autodesk Navisworks ®, *softwares* de grande destaque no mercado, oferece uma integração superior entre diferentes disciplinas de projeto, como arquitetura, estruturas e sistemas MEP. Essa integração permite a detecção precoce de conflitos, o que é crucial para minimizar retrabalhos, reduzir custos e evitar atrasos na construção.

Ademais os trabalhos analisados evidenciaram a economia de custos promovida pelo emprego da metodologia BIM na fase de compatibilização de projetos, bem como apresentaram as vantagens do emprego da metodologia na orçamentação de obra, identificação de conflitos entre as disciplinas e os desafios de implementação da metodologia frente ao tradicional CAD 2D. Nesse sentido, nota-se a importância da modelagem 3D na tomada de decisões estratégicas na fase de projeto, permitindo, também, o olhar crítico do incorporador ou construtor na análise do modelo de projeto proposto, o que não seria assertivamente ajustado quando empregada apenas a metodologia CAD 2D.

Destarte, acredita-se que esta pesquisa apresentou trabalhos pertinentes à temática escolhida, revelando os benefícios da metodologia BIM na etapa de projetos e compatibilização entre as diversas disciplinas, enfatizando, no contexto brasileiro, a influência desta metodologia na economia final de uma obra. Este trabalho ressalta a importância do emprego do BIM pelas construtoras e incorporadoras brasileiras, a fim de otimizar processos executivos, mitigar gastos

desnecessários advindos de retrabalhos e promover uma visualização mais assertiva das interações entre os projetos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Embora este estudo tenha evidenciado de forma significativa os benefícios do uso do BIM na redução dos custos de obra decorrentes da não compatibilização entre projetos de engenharia, há diversas áreas que demandam investigação adicional para aprofundar o entendimento e expandir as aplicações dessa metodologia. Sugere-se, para futuros trabalhos, a realização de estudos que explorem a aplicação do BIM em contextos mais complexos e diversificados, como grandes obras de infraestrutura e projetos industriais, onde a interoperabilidade entre disciplinas é crítica e os desafios de compatibilização se mostram ainda mais evidentes. A análise do impacto do BIM na eficiência operacional em fases posteriores ao projeto, como a execução e a manutenção das edificações, pode fornecer dados valiosos sobre o ciclo de vida completo do projeto e a viabilidade econômica de sua implementação em diferentes tipos de empreendimentos. Além disso, a investigação de como diferentes níveis de desenvolvimento (LOD) no BIM influenciam a precisão dos quantitativos e a assertividade das estimativas de custo em projetos de variadas escalas e complexidades pode contribuir para uma compreensão mais detalhada dos benefícios econômicos proporcionados pelo BIM.

Outra vertente de pesquisa relevante envolve a integração do BIM com outras tecnologias emergentes, como a realidade aumentada (RA), a realidade virtual (RV) e a inteligência artificial (IA), que podem potencializar as capacidades de detecção de conflitos e de compatibilização entre disciplinas. Estudos futuros poderiam focar na viabilidade técnica e econômica da combinação dessas tecnologias com o BIM, explorando como elas podem aprimorar a visualização tridimensional, a análise de cenários e a comunicação entre as equipes de projeto, com o objetivo de maximizar a eficiência e a precisão desde a fase de concepção até a entrega final da obra. Ademais, a análise de desafios relacionados à adoção do BIM e de tecnologias correlatas em diferentes contextos regionais e culturais, especialmente em mercados emergentes, pode oferecer novas percepções sobre barreiras e oportunidades para a disseminação dessas práticas inovadoras na construção civil, contribuindo para a modernização e a melhoria contínua dos processos de projeto e execução.

6 REFERÊNCIAS

- ALGAYER, Thiago Albuquerque. **COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DO PANORAMA ATUAL E DAS INTERFERÊNCIAS ENTRE OS PRINCIPAIS TIPOS DE PROJETOS**. 2014. 144 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA). **Project building information modeling protocol form**. 2013.
- AMORIM, Sérgio Roberto Leusin de. **Gestão da Interferência Entre Projetos na Construção Civil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
- ANDRADE, Max Lia Veras X., RUSCHEL, Regina Coeli. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 4, 2009
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-6:2021**. Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15848:2024**. Sistemas de condicionamento de ar e ventilação - Procedimentos e requisitos relativos às atividades de construção, reformas, operação e manutenção das instalações que afetam a qualidade do ar interno. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636-1:2017**. Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Parte 1: Diretrizes e Terminologia. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636-2:2017**. Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos. Parte 2: Projeto Arquitetônico. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2023**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- AZHAR, Salman. Building Information Modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the aec industry. **Leadership And Management In Engineering**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 241-252, jul. 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)lm.1943-5630.0000127](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)lm.1943-5630.0000127).
- BONSIEPE, G. **A tecnologia da tecnologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 1983.

BRASIL. Lei nº 14133, de 1 de abril de 2021. **Lei de Licitações e Contratos Administrativos**. Brasília, DF.

BRITO, Bruno Leão de. **ESTIMATIVAS DE CUSTO EM FASES INICIAIS DE PROJETOS A PARTIR DE MODELOS BIM E PROGRAMAÇÃO GENERATIVA**. 2018. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

BUSS, Arthur Guilherme; CARNEIRO, Deborah Deah Assis; LÉDO, Byatriz Cordeiro. Aplicação do bim na compatibilização de projetos complementares. **Brazilian Applied Science Review**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 319-332, 2020. Brazilian Applied Science Review. <http://dx.doi.org/10.34115/basrv4n1-020>.

CARMO, Cristiano Saad Travassos do; ALMEIDA, Guilherme Zamboni de; SOUZA, Leonardo Laurentino de. GESTÃO DE PROJETOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL COM A METODOLOGIA BIM APLICADA: ESTUDO DE CASO. **Brazilian Journal Of Production Engineering**, São Mateus, v. 2, n. 5, p. 107-117, 2018.

CATELANI, Wilton Silva. **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras**: volume 3 - colaboração e integração bim. Brasília: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2016. 132 p.

CATELANI, Wilton Silva. **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras**: volume 1: fundamentos bim. Brasília: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2016. 124 p.

COSTA, Gleidson Martins da; LEITE, Fernanda Rafaella de Souza; VIRGÍNIO, Inêz Prazeres; SILVA JÚNIOR, Elcio Lyndon da. Compatibilização de projeto com auxílio do BIM: análise da redução de custos em uma obra de habitação de interesse social. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-11, 4 jan. 2022. **Research, Society and Development**. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24625>.

DELOITTE. U.S. engineering and construction industry outlook: Navigating a dynamic landscape. 2023. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/energy-resources/us-eri-outlook-engineering-and-construction-2023.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2024.

EASTMAN, Chuck; SACKS, Rafael; TEICHOLZ, Paul; GHANG, Lee. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2021. 592 p.

FERREIRA, A.B.H. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 2. ed. Rio de Janeiro, Nova Fronteira, 1986.

FERREIRA, Rita Cristina; SANTOS, Eduardo Toledo. CARACTERÍSTICAS DA REPRESENTAÇÃO 2D E SUAS LIMITAÇÕES PARA A COMPATIBILIZAÇÃO ESPACIAL. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 1-10, 3 nov. 2007. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestao da Informacao Academica (AGUIA). <http://dx.doi.org/10.4237/gtp.v2i2.39>.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7. ed. Barueri: Atlas, 2022. 208 p.

HAMMARLUND, I.; JOSEPHSON, P.E. Qualidade: cada erro tem seu preço. Trad. De Vera M. C, Fernandes Hachich. *Téchne*. n.1, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PIB cresce 2,9% em 2023 e fecha o ano em R\$ 10,9 trilhões. Agência de Notícias IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/37284-pib-cresce-2-9-em-2023-e-fecha-o-ano-em-r-10-9-trilhoes>. Acesso em: 21 jul. 2024.

JACOSKI, Claudio Alcides. **INTEGRAÇÃO E INTEROPERABILIDADE EM PROJETOS DE EDIFICAÇÕES - UMA IMPLEMENTAÇÃO COM IFC/XML**. 2003. 219 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. McGraw-Hill Professional.

LIMA, Maria Eulália das Chagas. **UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA BIM PARA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS E PLANEJAMENTO DE OBRAS: estudo de caso em um complexo de educação infantil no município de Vertentes-PE**. 2022. 46 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2022.

MACIEL, Ana Carolina Fernanades; SOUZA JUNIOR, Dogmar Antonio de; OLIVEIRA, Pedro Henrique. Detecção de incompatibilidades de projetos entre metodologia convencional 2D E BIM: um estudo comparativo. **Revista de Gestão e Projetos**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 97-116, 9 dez. 2022. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/gep.v13i3.22337>.

MARQUES, G.A.C. **O Projeto integrado à obra**. EPUSP, 1992. (Notas de aula da disciplina PCC-568)

MARTINS, Lucas Francisco. **A análise da representação gráfica de projetos civis com “CAD”, “BIM” e “RA” para identificar as interferências de obra em projetos**

- complementares.** 2018. 129 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- MCKINSEY & COMPANY. Accelerating growth in construction technology. 2023. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/private-capital/our-insights/from-start-up-to-scale-up-accelerating-growth-in-construction-technology>. Acesso em: 21 jul. 2024.
- MELHADO, Silvio Burrattino; AGOPYAN, Vahan. **O conceito de projeto na construção de edifícios: Diretrizes para sua elaboração e controle.** São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da Usp, 1995. 22 p.
- MELHADO, Sílvio Burrattino e AGOPYAN, Vahan. **Conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle.** São Paulo: Epusp. Acesso em: 26 jul. 2024.
- MELHADO, Silvio Burrattino; BAÍA, Josaphat Lopes; FABRÍCIO, Marcio Minto. ESTUDO DA SEQÜÊNCIA DE ETAPAS DO PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS: CENÁRIO E PERSPECTIVAS. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Niterói, v. 230, n. 19, p. 1-8, Anais 1998.
- MENESES, Jônatas da Conceição; QUARESMA, José Eduardo. A COMPATIBILIZAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO COM OS PROJETOS COMPLEMENTARES. **Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar - Issn 2675-6218**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-33, 26 nov. 2021. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v1i1.971>.
- PAGE, Matthew J.; MCKENZIE, Joanne E.; BOSSUYT, Patrick M.; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C.; MULROW, Cynthia D.; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M.; AKL, Elie A.; BRENNAN, Sue E.. A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Revista Panamericana de Salud Pública**, [S.L.], v. 46, p. 1, 30 dez. 2022. Pan American Health Organization. <http://dx.doi.org/10.26633/rpsp.2022.112>.
- SACKS, Rafael; KOSKELA, Lauri; DAVE, Bhargav A.; OWEN, Robert. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal Of Construction Engineering And Management**, [S.L.], v. 136, n. 9, p. 968-980, set. 2010. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000203](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000203).
- SALGADO, Hugo Dalago. **ATRIBUIÇÃO DE INFORMAÇÕES ORÇAMENTÁRIAS EM MODELOS DE CONSTRUÇÃO BIM.** 2021. 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

- SHAH, Fakhar Hassan; BHATTI, Omer Shujat; AHMED, Shehryar. A Review of the Effects of Project Management Practices on Cost Overrun in Construction Projects. **Csce** **2023**, [S.L.], v. 1, n. 44, p. 1-5, 22 ago. 2023. MDPI. <http://dx.doi.org/10.3390/engproc2023044001>.
- SILVA, R. A. Problemas de Compatibilização de Projetos no CAD 2D. *Engenharia Civil Revista*, v. 12, n. 1, p. 45-58, 2018.
- SOUZA, F. A. Desafios da Compatibilização de Projetos no Sistema CAD 2D. *Revista de Tecnologia da Informação*, v. 7, n. 2, p. 32-44, 2016.
- STEMMER, C.E. A questão do projeto nos cursos de engenharia - texto no 1. In: Fórum ABENGE. **Revista Ensino de Engenharia**, v.7, n. 1, 1988. São Paulo, ABENGE, 1988. p.3-6.
- SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 357-375, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
- TRENDS, Bim. **The Evolution of BIM Over Time: A Brief History**. 2024. Disponível em: <https://bimtrends.com/bim-civil-construction/the-evolution-of-bim-over-time-a-brief-history/>. Acesso em: 26 jul. 2024.
- VENÂNCIO, Maria João Lima. **Avaliação da implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal**. 2015. 402 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2015.