ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL

BRUNA MENDONÇA PIMENTEL

LUCAS SILVA SOARES GONÇALVES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA - DF, DEZEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL

BRUNA MENDONÇA PIMENTEL

LUCAS SILVA SOARES GONÇALVES

Orientadora: Prof.ª Michele Tereza Marques Carvalho, DSc. (ENC-UnB)

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA CIVIL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL

BRUNA MENDONÇA PIMENTEL

LUCAS SILVA SOARES GONÇALVES

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

_____

Prof. Michele Tereza Marques Carvalho, D.Sc(UnB)

(Orientadora)

_____

Prof. Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira, D.Sc (UnB)

(Examinador Interno)

_____

Rodrigo Otávio Valente Ribeiro da Silva, M.Sc (UnB)

(Examinador Externo)

DATA: BRASÍLIA/DF, 12 de DEZEMBRO de 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

PIMENTEL, BRUNA MENDONÇA; GONÇALVES, LUCAS SILVA SOARES
ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL. [Distrito Federal] 2025.
122 p., 210 x 297mm (ENC/FT/UnB, Bacharel em Engenharia Civil, 2025).
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Building Information Modelling (BIM)	2. Modelagem da construção
3. Planejamento de obras	4. Gestão da construção civil
5. Otimização de prazos e recursos.	6. subsistema de sprinklers
I. ENC/FT/UnB	II. Título (Bacharel)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIMENTEL, B. M; GONÇALVES, L. S. S. (2025). **ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL.** Monografia de Projeto Final em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 122 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORES: Bruna Mendonça Pimentel e Lucas Silva Soares Gonçalves

TÍTULO: ANÁLISE DOS EFEITOS DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 4D INTEGRADA AO CONTROLE E GERENCIAMENTO DE OBRA PREDIAL.

GRAU: Bacharel em Engenheira Civil ANO: 2025

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

1. Bruna Mendonça Pimentel

e-mail: brunam.pimentel@hotmail.com

2. Lucas Silva Soares Gonçalves

e-mail: lucassgoncalves2703@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por Seu amor infinito, força, saúde e discernimento ao longo desta jornada. Sem Sua direção, este projeto não teria sido possível.

Aos nossos familiares, pelo apoio incondicional, compreensão nas ausências e confiança. Cada palavra de incentivo e gesto de carinho foram essenciais para chegarmos até aqui.

Expressamos nossa gratidão a dois amigos especiais, Matheus Antônio Barros e Maria Clara Fleuri, que nos incentivaram e apoiaram durante toda a graduação, nos impulsionando a entregar este trabalho com dedicação.

Agradecemos à nossa orientadora, cuja atuação foi fundamental para a construção deste trabalho. Também agradecemos aos professores que, ao longo do curso, compartilharam seus conhecimentos e experiências, ampliando nossa visão acadêmica e profissional, agradecemos imensamente.

Agradecemos aos profissionais que encontramos ao longo de nossa formação, especialmente nos estágios, cujas práticas e dedicação foram fonte de inspiração.

Também agradecemos à obra que serviu de objeto de estudo, cuja colaboração foi essencial para o desenvolvimento da pesquisa, contribuindo para a comunidade acadêmica.

Por Bruna Mendonça Pimentel

Aos meus pais por me apoiarem em cada escolha, mesmo sabendo que cursar esta graduação me levaria para longe de casa. Agradeço por se fazerem presentes em cada ligação e segurarem a minha mão para trilhar este caminho. Obrigada por serem pilares fundamentais e inspiração para chegar ao final desta jornada.

À toda minha família, em especial às minhas irmãs, Maria Eduarda e Beatriz, à minha prima Ana Luísa e aos meus avós, que sempre estiveram ao meu lado, orando por mim, acreditando no meu potencial e me inspirando para seguir em frente.

À minha amiga Leticia Ferreira, que me incentivou a ingressar na UnB e acompanhou toda essa trajetória até o final, deixo minha gratidão pela presença constante.

À minha tia Josefa, que me acolheu nesta cidade e me guiou no início dessa caminhada, seu apoio e amor incondicional foram essenciais para que eu pudesse trilhar este caminho.

À minha amiga Rayssa Lopes, agradeço por toda parceria e conselhos constantes, por tornar os dias e rotinas mais leves, sendo fundamental nesta reta final.

Por fim, e não menos importante, ao meu amigo e dupla de graduação: Lucas Silva. Agradeço pela parceria, pelos conselhos, força e pela companhia nos momentos difíceis e nas noites em claro, mas também nos momentos de comemoração. Obrigada por tornar esse percurso mais leve e fazer tudo isso se tornar possível.

Por Lucas Silva Soares Gonçalves

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e acreditaram nas minhas escolhas e decisões, agradeço imensamente. Eles foram a base sólida que me permitiu seguir o caminho da Engenharia Civil, oferecendo o suporte emocional e a confiança necessárias para que eu nunca desistisse dos meus objetivos, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Aos meus irmãos, Camila e Vinícius, que com suas palavras de incentivo e exemplos de superação, sempre me impulsionaram a buscar ser o melhor de mim mesmo, agradeço pelo constante apoio.

À minha namorada, Karine Rodrigues que se tornou uma grande fonte de motivação, tanto no âmbito acadêmico quanto pessoal. Seu amor, paciência e encorajamento diários me impulsionam a ser o melhor profissional e graduando que eu poderia ser.

Por fim, à minha parceira de Projeto Final: Bruna Mendonça. Desde o primeiro semestre de Engenharia Civil, nossa conexão e parceria foram fundamentais para que trilhássemos juntos esta jornada. Agradeço imensamente pela colaboração, pelo comprometimento e pelo companheirismo.

RESUMO

Diante da crescente complexidade dos projetos construtivos e das limitações dos métodos tradicionais de planejamento, este trabalho analisa a aplicação do BIM 4D no planejamento, controle e gerenciamento de uma obra predial, com foco no subsistema de sprinklers, visando avaliar seu impacto na otimização de prazos e recursos. A metodologia adotada incluiu um estudo de caso em Brasília (DF), envolvendo a integração de dados do subsistema de sprinklers fazendo uso da base estrutural por meio da plataforma Autodesk Navisworks. Foram apresentados, em princípio, dados reais vinculados à obra, de modo a dispor dos cenários planejado e executado, nos quais foram identificadas defasagens significativas entre estes decorrentes de baixa produtividade, restrições de mão de obra, falhas de fornecimento e falta de integração entre disciplinas. Com base na coleta e processamento de projetos 2D/3D, extração de quantitativos e definição de produtividades com apoio do SINAPI, desenvolveu-se um cenário otimizado, cuja simulação temporal possibilitou antecipar conflitos, reorganizar frentes de trabalho e propor ajustes realistas de recursos. A integração entre dados geométricos e temporais permitiu diagnosticar divergências, antecipar conflitos, reorganizar frentes de trabalho e propor ajustes realistas de recursos, demonstrando o potencial do BIM 4D para elevar a previsibilidade do cronograma, reduzir riscos e aprimorar a coordenação multidisciplinar. Os resultados evidenciaram que a modelagem temporal oferece suporte decisivo à tomada de decisão gerencial, sobretudo em sistemas de alta responsabilidade técnica como o de sprinklers, ao passo que limitações como inconsistências nos modelos IFC, falta de um ambiente comum de dados e barreiras organizacionais ainda restringem a adoção plena da metodologia. O estudo contribui com diretrizes práticas, incluindo um fluxograma de implementação do BIM 4D, e reforça a importância da transformação digital para aumentar a eficiência no setor da construção civil.

Palavras-chave: BIM 4D. Planejamento de obras. subsistema de sprinklers. Modelagem da construção. Gestão da construção civil. Otimização de prazos e recursos.

ABSTRACT

Given the increasing complexity of construction projects and the limitations of traditional planning methods, this study analyzes the application of 4D BIM in the planning, control, and management of a building project, with specific focus on the sprinkler system, aiming to evaluate its impact on schedule and resource optimization. The methodology involved a case study in Brasília (DF), integrating sprinkler system data into the structural model using the Autodesk Navisworks platform. Real project data were examined to compare planned and actual scenarios, revealing significant discrepancies resulting from low productivity, labor constraints, material supply issues, and lack of coordination among disciplines. Based on the collection and processing of 2D/3D project files, quantity extraction, and productivity definition supported by SINAPI, an optimized scenario was developed. The temporal simulation enabled early conflict detection, reorganization of work fronts, and more realistic resource adjustments. The integration of geometric and temporal data demonstrated the potential of 4D BIM to enhance schedule predictability, reduce risks, and improve multidisciplinary coordination. Results indicate that temporal modeling provides essential support for managerial decision-making, particularly for high-responsibility systems such as sprinklers, although limitations remain—including inconsistencies in IFC models, absence of a consolidated Common Data Environment (CDE), and organizational barriers to adoption. The study contributes practical guidelines, including a 4D BIM implementation workflow, and reinforces the importance of digital transformation to increase efficiency in the construction industry.

Keywords: 4D BIM. Construction planning. Sprinkler systems. Building modeling. Construction management. Schedule and resource optimization.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **1**
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO **1**
1.2. JUSTIFICATIVA **4**
1.3. OBJETIVOS **6**
1.3.1. OBJETIVO GERAL 6
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
1.4. RESTRIÇÃO DA PESQUISA **6**
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO **7**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **9**
2.1. PRODUTIVIDADE E MÃO DE OBRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL **9**
2.1.1. SISTEMA SINAPI 11
2.2. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) **13**
2.2.1. CONCEITO E CONTEXTO HISTÓRICO 13
2.2.2. DIMENSÕES BIM E DIVERGÊNCIAS NA LITERATURA 15
2.2.3. NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO (LOD) 18
2.2.4. INTEROPERABILIDADE E IFC 19
2.3. BIM 4D **22**
2.3.1. BIM NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS 26
2.4. SOFTWARES BIM 4D 30
2.4.1. NAVISWORKS 31
2.5. SUBSISTEMA DE SPRINKLERS 33

3. METODOLOGIA **37**
3.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS **38**
3.1.1. PROJETOS E CRONOGRAMAS 38
3.1.2. LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DE MATERIAIS 41
3.1.3. COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE SERVIÇO 42
3.2. INTEGRAÇÃO DE DADOS **44**
3.2.1. APRESENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS 45
3.3. ANÁLISE DE IMPACTOS E POTENCIALIDADES DA MODELAGEM BIM 4D **47**
3.4. ELABORAÇÃO DE FLUXOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA BIM 4D **48**

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS **50**
4.1. ESTUDO DE CASO **50**
4.1.1. ESCOLHA DA DISCIPLINA DE PROJETO 51
4.2. BANCO DE DADOS **52**
4.3. CENÁRIO 1 **62**
4.4. CENÁRIO 2 **63**
4.5. CENÁRIO 3 **68**
4.6. DIAGNÓSTICO DE ATRASOS E CONTRIBUIÇÕES DO BIM 4D **85**
4.7. DIFICULDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM 4D **91**
4.8. FLUXOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIM 4D **92**

5. CONCLUSÕES **94**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **96**
APÊNDICE I **107**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produtividade no canteiro de obra **10**

Figura 2: Pilares da metodologia BIM **14**

Figura 3: Dimensões consolidadas do BIM **16**

Figura 4: Exemplo de detalhamento LOD **19**

Figura 5: BIM integrado ao ciclo de vida da edificação **20**

Figura 6: Esquema CDE **25**

Figura 7: O escopo e seus eixos principais como fatores fundamentais do projeto **26**

Figura 8: Interface do Navisworks. **32**

Figura 9: Esquematização do subsistema de sprinklers **34**

Figura 10: Componentes do sprinkler **35**

Figura 11: Delineamento da pesquisa **37**

Figura 12 - Relação dos cenários **40**

Figura 13: Integração dos grupos de informação **45**

Figura 14: EAP da obra **61**

Figura 15: Cenário 2: cronograma replanejado (1/5) **64**

Figura 16: Cenário 2: cronograma replanejado (2/5) **64**

Figura 17: Cenário 2: cronograma replanejado (3/5) **65**

Figura 18: Cenário 2: cronograma replanejado (4/5) **65**

Figura 19: Cenário 2: cronograma replanejado (5/5) **66**

Figura 20: Sequência executiva do subsistema de sprinklers **68**

Figura 21: Detecção de interferências pela ferramenta clash detection no Autodesk Navisworks **84**

Figura 22: Fluxograma de aplicação da ferramenta BIM 4D **93**

Figura 23: Qr codes de acesso aos materiais técnicos e resultados **108**

LISTA DE FIGURAS

Tabela 1- Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados 46

Tabela 2 - Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados 53

Tabela 3 - Levantamento de quantitativo de materiais por pavimento 55

Tabela 4 - Representação da EAP e hierarquia dos serviços 60

Tabela 5 - Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados 63

Tabela 6 - Cenário 2 (cronograma de execução) 66

Tabela 7 - Desvio Temporal Inicial no Cronograma de Instalação do subsistema de sprinklers 67

Tabela 8 - Serviços de Instalação do sistema SPK na EAP 69

Tabela 9 - Composição de custos unitárias de tê em ferro galvanizado 72

Tabela 10 - Relação aplicada para obtenção das composições de cruzeta em ferro galvanizado 72

Tabela 11 - Composição de custos unitárias adaptada para cruzeta em ferro galvanizado 73

Tabela 12 - Composições unitárias de produção da instalação do subsistema de sprinklers 74

Tabela 13 - Composição de custo unitária de Tubo de aço galvanizado (1") 77

Tabela 14 - Serviços e Tempo de Execução Estimado por Pavimento (uma dupla de profissionais) 78

Tabela 15 - Diferença de execução planejada e calculada (uma dupla de profissionais) 79

Tabela 16 - Serviços e Tempo de Execução Estimado por Pavimento para o cenário 3 81

Tabela 17 - Cenário 3: cronograma otimizado 82

Tabela 18 - Comparação do cenário 1 e 2 84

Tabela 19 - Comparativos entre cenários analisados 90

LISTA DE ABREVIAÇÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGETOP	Agência Goiana de Transportes e Obras
AIA	Instituto Americano de Arquitetos
ASBRACO	Associação Brasiliense de Construtores
BIM	*Building Information Modeling*
BIM BR	Estratégia Nacional de Disseminação do BIM
BGCU	Banco Geral de Custos Unitários
CAIXA	Caixa Econômica Federal
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CDE	Ambiente Comum de Dados
COM	Método do Caminho Crítico
CSV	*Comma-Separated Values*
CV	Cavalo-Vapor ou Coeficiente de Vazão
DF	Distrito Federal
DWG	Drawing (formato de arquivo CAD)
EAP	Estrutura Analítica do Projeto
GCPO	Gerenciamento de Custos, Preços e Orçamentos
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning (Climatização)

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFC	Industry Foundation Classes
ISO	International Organization for Standardization
LPS	*Last Planner System*
LOD	*Levels of Development*
NIB	Nova Indústria Brasil
NBR	Normas Brasileiras
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PIB	Produto Interno Bruto
QRCode	*Quick Response Code*
SETOP	Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil;
TCPO	Tabela de Composições e Preços para Orçamentos

1. INTRODUÇÃO

Esta monografia foi desenvolvida na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade de Brasília (UnB), no âmbito da Engenharia Civil, sob a orientação da Professora Dra. Michele Tereza Marques Carvalho. O estudo aborda a aplicação da tecnologia BIM 4D no controle e gerenciamento de serviços atrelados a obras prediais, tema que se insere no contexto da modelagem da informação da construção (BIM) e da gestão eficiente de cronogramas e recursos. O capítulo a seguir apresenta a contextualização e motivação para o estudo, sua justificativa, os objetivos propostos, restrição da pesquisa e a estrutura geral do trabalho.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E MOTIVAÇÃO

A gestão de obras prediais apresenta desafios significativos devido à complexidade dos projetos e à grande quantidade de informações envolvidas, como desenhos, planilhas e documentos técnicos (Nechyporchuk; Baskova, 2021). A qualidade da informação nesses projetos é um fator determinante para o sucesso da obra, uma vez que a tomada de decisão na indústria da construção civil muitas vezes se baseia em dados inconsistentes e com baixo nível de detalhamento (Wong et al., 2018). Esse cenário impacta diretamente no cumprimento de prazos, na gestão de recursos e na comunicação entre os agentes envolvidos na obra.

A indústria da construção civil é um setor intrinsecamente interdependente, onde cada decisão tomada durante o planejamento e a execução de uma obra desencadeia uma série de outras decisões subsequentes (Shehzad et al., 2020). Essa característica inerente exige uma gestão cuidadosa e coordenada de todos os aspectos do projeto, desde a concepção inicial até a entrega final, o que reforça a necessidade de metodologias digitais que integrem todas as etapas do processo.

O uso de ferramentas tradicionais de planejamento, como diagramas de precedência e a linha de balanço, é amplamente adotado para a organização das atividades (Prashant Gandh; Khanna, 2016). No entanto, esses métodos possuem limitações significativas, pois não permitem uma visualização espacial adequada do projeto ao longo do tempo.

A modelagem 4D surge como uma alternativa promissora para suprir essa deficiência, ao integrar modelos tridimensionais (3D) com informações temporais do planejamento da

construção (Ahmed, 2018). Essa abordagem permite uma representação mais precisa da sequência de atividades e facilita a tomada de decisão. Entretanto, sua adoção enfrenta desafios relacionados aos custos e esforços necessários para criação e atualização dos modelos (Btpoush; Haron, 2017).

Com o avanço da tecnologia e a crescente implementação do *Building Information Modeling* (BIM) no setor da construção, a modelagem 4D tem ganhado maior relevância. Estudos indicam que a utilização do BIM 4D contribui para a detecção antecipada de conflitos entre os elementos do projeto, aprimorando a gestão da sequência construtiva e a comunicação entre as equipes envolvidas (Pishdad-Bozorgi et al., 2018). Dessa forma, a possibilidade de vincular cronogramas de obra a modelos tridimensionais permite visualizar a evolução da construção de maneira dinâmica, melhorando a previsibilidade e redução de atrasos (Herr; Fischer, 2018).

O setor da construção civil desempenha um papel fundamental na economia brasileira, sendo um dos principais responsáveis pela geração de empregos e pelo dinamismo do Produto Interno Bruto (PIB). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), a construção civil apresentou uma leve retração de 0,5% no PIB em 2023, após períodos consecutivos de crescimento de 10% em 2021 e 6,9% em 2022.

Apesar dessa desaceleração, as projeções da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2024) indicam um crescimento de 4,1% para 2024, impulsionado pela modernização dos processos construtivos, pelo aumento do emprego formal no setor e pela demanda crescente por edificações e infraestrutura. A incorporação de metodologias digitais, como o BIM, tem sido um fator determinante para a produtividade e eficiência na construção civil, contribuindo para a redução de desperdícios e para a otimização dos cronogramas de obra. Com a crescente digitalização do setor, observa-se uma tendência de maior integração entre as etapas do projeto e a execução, o que impacta diretamente a economia do país.

A incorporação de metodologias digitais, como o BIM, tem sido um fator determinante para a produtividade e eficiência na construção civil, contribuindo para a redução de desperdícios e para a otimização dos cronogramas de obra. A Indústria da Construção Civil tem incorporado a modelagem BIM 4D de forma gradativa ao longo das últimas décadas, evidenciando um aumento na adesão a processos digitais para gestão de empreendimentos (Corrêa; Marchiori, 2017). Estudos apontam que o uso da modelagem 4D melhora a precisão

na previsão de prazos e custos, ao integrar modelos digitais tridimensionais com o planejamento da obra, permitindo maior assertividade nos cronogramas e na gestão da comunicação (Walasek; Barszcz, 2017).

No Brasil, a adoção do BIM tem sido incentivada por meio de políticas públicas e normativas que buscam estruturar a administração pública e fomentar a transformação digital no setor da construção civil. A institucionalização do BIM no país teve um avanço significativo com a publicação da Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei nº 14.133/2021), que determina a adoção preferencial dessa metodologia em licitações para obras e serviços de engenharia e arquitetura.

Além disso, normativas como os Decretos nº 9.377/2018 e nº 10.306/2020 estabeleceram diretrizes para a implementação gradual do BIM, priorizando a digitalização dos processos e a maior eficiência na execução de obras públicas. Mais recentemente, o Decreto nº 11.888/2024 consolidou a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM por meio da Nova BIM BR, formalizando sua governança e ampliando as iniciativas voltadas à capacitação, normatização e incentivo ao investimento em tecnologia.

O Plano de Trabalho da Nova BIM BR, publicado em 2024, estabelece diretrizes para ampliar a adoção do BIM e suas aplicações avançadas, incluindo a modelagem 4D, que integra planejamento e execução em um ambiente digital colaborativo. Além disso, a Nova BIM BR dialoga com programas governamentais estratégicos, como o Novo PAC e a Nova Indústria Brasil (NIB), reforçando o papel do BIM na modernização do setor.

Paralelamente aos avanços na digitalização, a segurança contra incêndio também passou por significativa evolução normativa no país. A mobilização para o desenvolvimento de medidas mais rígidas ganhou força especialmente a partir da década de 1970, após tragédias que evidenciaram a vulnerabilidade das edificações brasileiras. Entre os eventos mais impactantes estão o incêndio do Gran Circus Norte-Americano, em 1961, e os incêndios dos edifícios Andraus (1972) e Joelma (1974), que expuseram a insuficiência dos sistemas de proteção existentes e a ausência de protocolos estruturados. Esses episódios impulsionaram a criação de regulamentações mais rigorosas e o fortalecimento das práticas de fiscalização, elevando o nível de exigência para os sistemas de segurança instalados nas edificações.

Nesse contexto de expansão tecnológica, destaca-se a relevância dos sistemas prediais que demandam alto grau de coordenação e precisão executiva, dentre os quais o subsistema de

sprinklers se sobressai. Por se tratar de um dos principais mecanismos de proteção contra incêndios em edificações, sua instalação envolve interfaces críticas com estruturas, arquitetura, instalações elétricas e sistemas de climatização. A necessidade de garantir posicionamento adequado das tubulações, cobertura eficiente e ausência de interferências torna esse sistema especialmente sensível a falhas de planejamento e comunicação entre as disciplinas. A utilização do BIM 4D, ao integrar o modelo tridimensional com a sequência temporal de execução, permite visualizar o avanço da instalação ao longo do tempo, identificar conflitos antes da execução, aprimorar a análise de produtividade e aumentar a eficiência dos processos envolvidos. (Castelo, 2024)

Dessa forma, o presente estudo busca explorar como a aplicação do BIM 4D pode contribuir para a melhoria do controle e gerenciamento de obras prediais, otimizando prazos e recursos, com foco na análise executiva do subsistema de sprinklers. A investigação visa compreender as principais barreiras e vantagens associadas à adoção dessa ferramenta, bem como sua viabilidade dentro do setor da construção civil brasileira.

1.2. JUSTIFICATIVA

Apesar dos benefícios do BIM 4D, sua adoção ainda enfrenta desafios, principalmente relacionados à resistência organizacional, à necessidade de capacitação profissional e aos custos iniciais de implementação (Enegbuma et al., 2016). Contudo, a tendência global é que essas barreiras sejam progressivamente superadas, impulsionadas por incentivos governamentais e pela demanda crescente por maior eficiência na indústria da construção.

A implementação do BIM 4D também contribui para a sustentabilidade na construção civil, reduzindo desperdícios de materiais e melhorando o aproveitamento dos recursos disponíveis (Bosch-Sijtsema et al., 2017). A integração entre planejamento e execução permite um melhor controle dos insumos e a minimização de impactos ambientais, alinhando-se às diretrizes contemporâneas de construção sustentável (Nechyporchuk; Baskova, 2021).

No Brasil, a necessidade de modernização dos processos construtivos é evidente, dada a alta taxa de desperdício e os frequentes atrasos nas obras públicas e privadas. De acordo com estudos recentes, a falta de integração entre as etapas do projeto e a baixa eficiência na gestão

são fatores que impactam diretamente a produtividade do setor (Ahmed, 2018). O BIM 4D, ao facilitar a comunicação entre os envolvidos no projeto e aprimorar o controle dos processos, representa uma solução eficaz para mitigar essas questões.

A resistência à adoção de novas tecnologias também está associada às mudanças na dinâmica do mercado de trabalho, exigindo que profissionais adquiram novas competências e habilidades. Assim, é essencial que instituições de ensino e empresas promovam treinamentos para a capacitação e adaptação ao uso do BIM 4D (Prashant Gandh; Khanna, 2016). Essa capacitação contribuirá para uma implementação mais ampla e eficiente da tecnologia no setor.

Além desses fatores, destaca-se que a aplicação do BIM 4D apresenta relevância específica em sistemas de segurança contra incêndio, como os sistemas de sprinklers, cuja execução exige elevado nível de coordenação com estruturas, arquitetura, instalações elétricas e demais disciplinas do projeto. A correta instalação deste sistema é determinante para a proteção da edificação e a mitigação de riscos, e a modelagem 4D potencializa essa etapa ao permitir o sequenciamento visual da montagem, a detecção prévia de interferências e o planejamento preciso dos recursos envolvidos, de maneira a viabilizar a execução dentro do prazo e evitar que intercorrências afetem o próprio sistemas e os posteriores à ele, em virtude do caminho crítico estabelecido. Assim, a análise da aplicação do BIM 4D nesse contexto reforça a pertinência e a urgência da investigação aqui proposta.

Portanto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de analisar a aplicação do BIM 4D como ferramenta para otimização de prazos e recursos na construção civil, bem como pelos desafios enfrentados na sua adoção. A investigação contribuirá para o avanço do conhecimento sobre o tema e para o aprimoramento das práticas de planejamento e controle de obras no Brasil, especialmente no que se refere à eficiência e segurança na implantação de sistemas como o de sprinklers.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Este estudo tem por objetivo analisar a aplicação do BIM 4D na otimização de prazo e mão de obra, com ênfase na melhoria do controle e processo construtivo e na eficiência do planejamento da execução, aplicada ao subsistema de - combate à incêndio - sprinklers.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O presente estudo tem como objetivos específicos:

i) Apresentar e analisar os cenários planejado e executado, utilizando ferramentas reais aplicadas na obra, de forma comparativa, investigando as intercorrências executivas e metodológicas;

ii) Integrar dados estruturados em *software* BIM 4D, viabilizando a simulação de um cenário construtivo otimizado, a fim de analisar a sequência de atividades planejadas para o subsistema de - combate à incêndio - sprinklers, utilizando dados de produtividade da mão de obra;

iii) Analisar a influência da modelagem digital na eficiência do processo construtivo e na redução de riscos atrelados a fase executiva do projeto;

iv) Avaliar os benefícios e desafios do uso do BIM 4D, em relação ao objeto de estudo, embasados em analogias do banco de dados do sistema.

1.4. RESTRIÇÃO DA PESQUISA

Tendo em vista a complexidade do empreendimento analisado e a expressiva quantidade de serviços necessários para sua conclusão, definiu-se como recorte metodológico a abordagem específica da disciplina de subsistema de sprinklers, por se enquadrar nos requisitos de escolha. Para fins de análise, essa disciplina foi extraída como um subsistema isolado e posteriormente integrada somente à base estrutural do modelo digital da edificação, desvinculando outras disciplinas em função da indisponibilidade de informações suficientes em projetos para integração.

Uma das etapas metodológicas fundamentais da pesquisa consiste na verificação da existência de incompatibilidades entre os projetos tridimensionais, etapa indispensável para a consolidação do fluxo de processos requerido para implementação do BIM 4D. Contudo, devido a limitações relacionadas ao processamento dos arquivos 3D e identificação de lacunas de modelagem nas demais disciplinas de projetos, a análise de compatibilização foi direcionada exclusivamente às disciplinas utilizadas como referência espacial base e objeto de estudo, isto é, estrutura e subsistema de sprinklers. Essa delimitação garante eficiência no tratamento dos dados, sem comprometer a validade da investigação sobre a dinâmica do sequenciamento executivo.

Dessa forma, o desenvolvimento da pesquisa baseou-se apenas nos projetos estruturais e no projeto de sprinklers, não contemplando o modelo arquitetônico nem as demais instalações prediais. Consequentemente, a simulação do processo construtivo gerada no ambiente BIM 4D abrange exclusivamente o recorte definido, concentrando-se na representação temporal e espacial necessária para avaliar o desempenho do subsistema de sprinklers dentro da lógica executiva da edificação.

Ademais, o SINAPI utilizado para aferição de produtividades, é voltado principalmente para obras públicas, mas sua confiabilidade faz com que também seja adotado por muitas empresas privadas. No caso de grandes empresas, é comum que possuam composições próprias para determinados serviços. Entretanto, por não ter acesso ao orçamento da obra e suas respectivas composições, foi utilizado o sistema supracitado para o desenvolvimento deste estudo.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se subdividido em cinco capítulos, a fim de contemplar os objetivos delineados. Para tanto, o primeiro capítulo é composto por introdução, justificativa, objetivos do trabalho (geral e específicos), restrição da pesquisa e sua estrutura.

Em sequência, o segundo capítulo aborda a conceituação e o embasamento teórico sobre BIM e planejamento, destacando a relevância e a aplicabilidade da ferramentas do BIM 4D, essencial para o controle e gerenciamento de obras. Também explora a disciplina do subsistema de sprinklers selecionada para o estudo. Além de tratar da importância da produtividade e da gestão da mão de obra no contexto do planejamento e execução da obra

No terceiro capítulo, são descritos, de forma textual e por meio de fluxogramas, os procedimentos metodológicos da pesquisa, detalhando as características do objeto do estudo de caso, as etapas do projeto e sua execução. Para tanto, inclui-se neste aspecto a exposição dos métodos de aquisição de dados, as ferramentas de modelagem BIM 4D, a apresentação e simulação de cenários, a análise dos impactos e potencialidades da aplicação da ferramenta de planejamento supracitada e a consolidação das diretrizes resultantes do processo para implementação da metodologia.

No quarto capítulo serão apresentados os resultados esperados estruturados através dos objetivos disposto e metodologia delineada neste trabalho, respectivamente, nos capítulos um e três, de maneira a integrar informações atreladas a análises da aplicação do BIM 4D como ferramenta de gerenciamento, uma vez que a pesquisa visa aprimorar o planejamento e controle de obras com BIM 4D, identificando desafios e propondo soluções para sua adoção, em que viabilizam o desenvolvimento de um fluxo de implementação, auxiliando na tomada de decisão.

Por fim, o quinto capítulo estrutura a conclusão desta pesquisa, delineando os principais resultados da aplicação do BIM 4D no gerenciamento de obra, destacando os subsistema de sprinklers, em função dos seus impactos sobre o planejamento, a coordenação das disciplinas e a eficiência do sequenciamento construtivo, além de abordar limitações e perspectivas para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta o embasamento teórico necessário à compreensão dos conceitos, princípios e metodologias relacionados ao tema deste trabalho. Os referenciais teóricos contemplam os fundamentos da Modelagem da Informação da Construção (BIM), com ênfase na aplicação da dimensão 4D como ferramenta de integração entre o planejamento e a execução de obras prediais, com destaque para o subsubsistema de sprinklers. São abordados aspectos como a interoperabilidade entre softwares, os níveis de desenvolvimento do modelo (LOD) e sua influência na eficiência do controle de prazos, estabelecendo uma base conceitual consistente para as análises subsequentes. Adicionalmente, a revisão bibliográfica inclui estudos voltados à produtividade e à gestão da mão de obra, fundamentais para a compreensão do desempenho dos processos construtivos.

2.1. PRODUTIVIDADE E MÃO DE OBRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A produtividade no setor da construção civil não pode ser analisada apenas a partir da quantidade de trabalho executado, mas também a partir da relação entre qualidade e tempo. Para que a produtividade seja efetivamente medida, é necessário considerar uma série de variáveis, como o uso de tecnologias de gestão, as condições de trabalho e a capacitação da mão de obra. Quando bem planejada e executada, a gestão de produtividade contribui para a redução de custos e prazos, elementos essenciais para a competitividade no setor da construção.

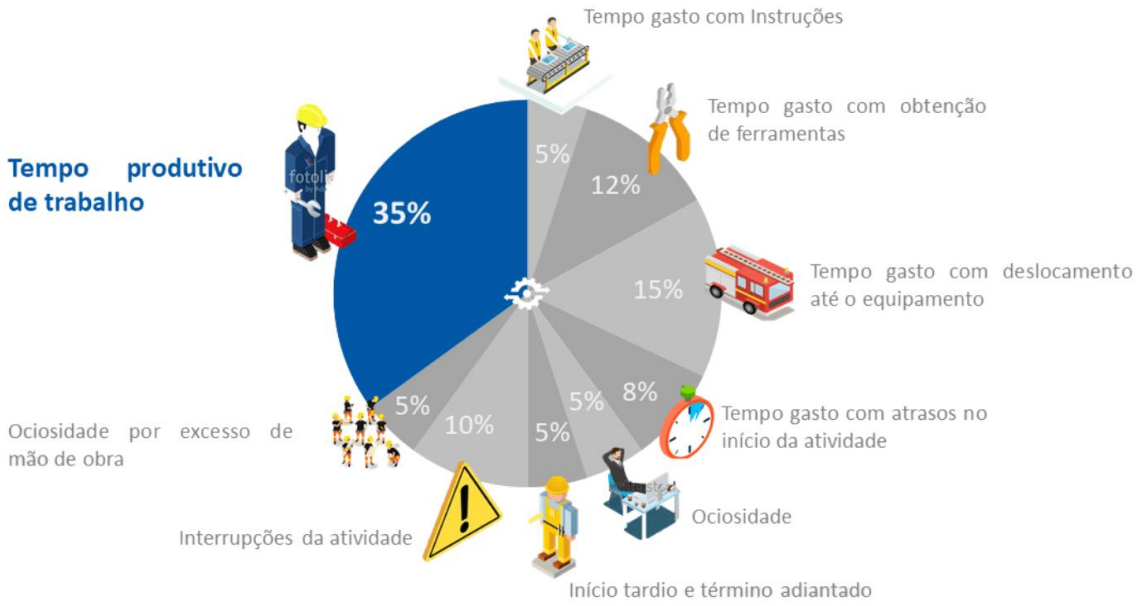
Souza (2006) define a produtividade como “a eficiência na transformação do esforço dos trabalhadores em produtos de construção” (Souza, 2006). A produtividade não pode ser medida apenas em termos de quantidade de trabalho realizado, mas também deve considerar a qualidade do serviço executado, pois uma execução mais rápida não é suficiente se isso resultar em retrabalhos ou falhas na qualidade.ção civil.

Além disso, a qualificação da mão de obra e o treinamento contínuo são fundamentais para garantir que a produtividade não seja comprometida ao longo das diferentes fases da obra. O planejamento das obras, com foco em dimensionar corretamente a mão de obra necessária, está diretamente relacionado à produtividade. Mattos (2019) observa que “a produtividade de uma equipe ou equipamento é representada pela quantidade de unidades de trabalho

produzidas em um intervalo de tempo especificado". Quanto maior a produtividade, menos tempo é gasto para realizar as mesmas atividades, e isso tem um impacto positivo na redução dos custos e aceleração dos prazos. Portanto, a gestão da mão de obra deve ser baseada em indicadores de produtividade adequados para cada tipo de serviço executado na obra.

A aplicação de métodos como o Planejamento de Produção, utilizando ferramentas como BIM 4D para integração do tempo e do espaço no planejamento da obra, traz um controle mais eficiente sobre a produtividade. A visualização do andamento das atividades em tempo real, com base em cronogramas detalhados, contribui para a melhor alocação de recursos humanos e materiais, além de permitir ajustes contínuos durante a execução das atividades. A ilustração, representada na Figura 1, infere em como a análise do gestor sobre a produtividade na equipe, pode impactar diferentes frentes em uma obra.

Figura 1: Produtividade no canteiro de obra



. Fonte: Engeteles, 2025.

No entanto, mesmo com as ferramentas adequadas, é importante destacar que a gestão de recursos humanos vai além de simplesmente dimensionar a quantidade de trabalhadores. Também é necessário realizar um estudo detalhado sobre o tipo de atividade a ser realizada e o tipo de especialização necessária para cada fase do projeto. Isso garante não só o aumento da produtividade, mas também a qualidade do serviço executado.

Para a otimização da produtividade, as condições de trabalho também devem ser observadas, como destaca Souza (1998), que identifica dois grupos principais de fatores que afetam a produtividade: o trabalho a ser feito e o ambiente de trabalho. O primeiro engloba os componentes físicos do trabalho, como especificações e detalhes do projeto, enquanto o segundo abrange fatores como a organização do canteiro de obras, as condições climáticas e a disponibilidade de materiais e equipamentos (Souza, 1998).

O desafio de prever e gerenciar a produtividade se intensifica na adoção de novos sistemas construtivos. Embora o cálculo de consumo de materiais seja previsível, a estimativa de tempo de mão de obra introduz incerteza, sendo afetada por fatores empíricos como a experiência e a motivação da equipe. Para mitigar essa incerteza, os gestores utilizam a experiência própria ou recorrem a indicadores de mercado. Um banco de dados confiável é o Sistema Nacional de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), disponibilizado pela Caixa Econômica Federal, que fornece referências de preços e custos de composição de serviços.

2.1.1. SISTEMA SINAPI

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) tem se consolidado como uma ferramenta indispensável no controle e planejamento de custos nas obras, especialmente em relação à mão de obra e materiais. De acordo com a Caixa Econômica Federal (2022), o SINAPI fornece dados atualizados sobre os custos de materiais, mão de obra e equipamentos, além de índices de produtividade específicos para cada tipo de serviço, com base em dados coletados em todo o Brasil. O sistema permite a quantificação precisa dos custos de uma obra, ajudando na precificação de serviços e fornecendo previsões de custos mais realistas (Caixa, 2022).

O uso do SINAPI no contexto da construção civil ajuda a realizar ajustes contínuos no orçamento de acordo com as condições reais da obra, melhorando a previsibilidade e controle de custos. De acordo com a Caixa Econômica Federal (2020), o Sistema SINAPI integra dados sobre o custo de mão de obra e os coeficientes de consumo de materiais, tornando a gestão orçamentária mais eficaz (Caixa, 2020). Além disso, a atualização periódica dos valores permite que os orçamentos reflitam as condições do mercado, ajudando a evitar surpresas e a melhorar a gestão financeira das obras.

Porém, o uso do SINAPI não se limita apenas à estimativa de custos de mão de obra e materiais. Ele também fornece um indicador de produtividade para cada tipo de serviço, com base em dados coletados de várias obras em andamento no Brasil. Essa informação de produtividade é fundamental para o dimensionamento de mão de obra de maneira eficiente. Dessa forma, o dimensionamento adequado da mão de obra, aliado aos dados de produtividade do SINAPI, permite uma gestão mais eficiente e precisa da obra.

A integração entre a produtividade da mão de obra e os dados fornecidos pelo SINAPI tem se mostrado uma estratégia poderosa para a gestão de obras. Com os dados do SINAPI, é possível realizar uma estimativa precisa dos custos de materiais e mão de obra, enquanto a análise da produtividade da equipe pode ajudar a ajustar o número de trabalhadores necessários para a execução das tarefas. Dessa forma, ao combinar essas duas variáveis, os gestores de obra podem tomar decisões mais informadas, otimizar a alocação de recursos e garantir que o projeto seja realizado dentro do orçamento e do prazo estipulados.

A integração da produtividade da mão de obra com os dados fornecidos pelo SINAPI oferece uma gestão otimizada de projetos de construção. O planejamento eficaz da mão de obra envolve não apenas o dimensionamento da quantidade necessária de trabalhadores, mas também a avaliação contínua da produtividade ao longo da execução da obra. Souza (2017) sugere que “o cálculo da produtividade da mão de obra deve ser baseado nos índices de produtividade fornecidos por bancos de dados como o SINAPI, que oferecem uma base de comparação entre os custos reais e os custos estimados para diferentes tipos de serviço” (Souza, 2017). Isso garante que os gestores possam ajustar os recursos de acordo com a demanda real da obra, maximizando a eficiência operacional.

Com isso, a gestão de produtividade, a mão de obra e o controle de custos proporcionado pelo SINAPI se tornam elementos essenciais para a viabilidade econômica e sucesso de projetos de construção. A eficiência na execução de obras, aliada ao uso de tecnologias avançadas e ao controle de custos, garante a sustentabilidade do projeto e a qualidade do trabalho executado.

2.2. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

2.2.1. CONCEITO E CONTEXTO HISTÓRICO

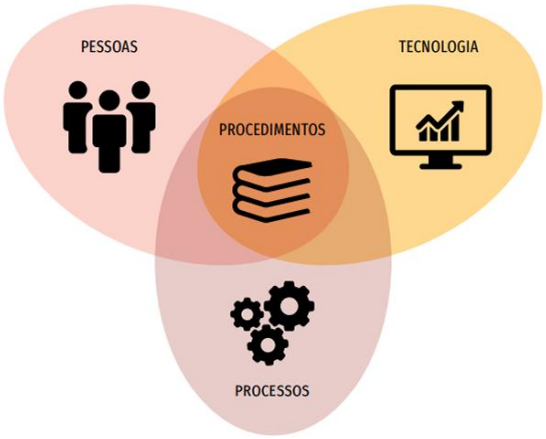
O *Building Information Modeling* (BIM) pode ser definido como uma metodologia que permite a modelagem digital e integrada de uma edificação, incorporando informações que abrangem todo o ciclo de vida da construção, desde a concepção do projeto até a sua demolição (Eastman et al., 2011). A ABNT NBR ISO 19650-1:2022 complementa essa definição ao caracterizar o BIM como o uso de uma representação digital e compartilhada de uma construção, permitindo a coordenação eficiente das fases de design, construção e operação, facilitando a tomada de decisões ao longo do processo.

Consonante a Sampaio (2017), a base do BIM está na modelagem digital por meio de objetos paramétricos, o que possibilita maior precisão na concepção e execução do projeto. Além disso, a metodologia favorece a interoperabilidade entre diferentes plataformas e profissionais envolvidos na obra, promovendo maior controle e previsibilidade dos custos e do cronograma. Com base nessa perspectiva, observa-se que o BIM representa uma evolução significativa na forma como os projetos arquitetônicos e de engenharia são concebidos e gerenciados.

A integração de informações no modelo BIM também favorece a comunicação entre os agentes envolvidos no projeto, minimizando erros e retrabalhos. Segundo Cardoso (2022), a construção virtual possibilita a coordenação entre desenho, custo e cronograma, permitindo a sincronização de diferentes etapas do empreendimento. Isso significa que, ao utilizar o BIM, as equipes podem identificar e corrigir falhas antes da execução física da obra, reduzindo desperdícios de materiais e melhorando a eficiência produtiva.

A adoção do BIM tem sido impulsionada pelo avanço das tecnologias digitais aplicadas à construção civil. Charles Eastman foi um dos pioneiros no desenvolvimento do conceito, iniciando suas pesquisas sobre modelagem computacional em 1974 (Cardoso, 2022). De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2022), a terminologia "*Building Modeling*" começou a ser utilizada em dezembro de 1992, consolidando-se como um conceito fundamental para a modernização da indústria da construção. Além disso, a ABDI (2022) destaca que a implementação do BIM se baseia em três pilares fundamentais: tecnologia, pessoas e processos (Figura 2).

Figura 2: Pilares da metodologia BIM



. Fonte: ABDI, 2022 .

Percebe-se então que a evolução do BIM acompanhou os avanços tecnológicos, tornando-se um elemento indispensável para a inovação na construção civil. Além da modernização dos processos de projeto e construção, o BIM apresenta características específicas que o tornam um diferencial na indústria da construção civil. A primeira delas é a possibilidade de simulação e visualização em tempo real das etapas da obra, permitindo um planejamento mais preciso. Com ferramentas como o Autodesk Navisworks, é possível associar o modelo 3D ao cronograma da obra, gerando sequências de imagens ou vídeos que ilustram o progresso da construção e auxiliam na tomada de decisões (Maini, 2023).

A indústria da construção civil, conforme apontado por Hautala et al. (2017), demonstra um ritmo de inovação consideravelmente mais lento em comparação com outros setores industriais. Tal desaceleração pode ser atribuída, em grande parte, à escassez de dados e investimentos em tecnologias. Nesse contexto, o BIM emerge como uma ferramenta promissora para impulsionar a transformação digital da construção civil.

Conforme elucidado por Silva (2022), a adoção da ferramenta em questão resulta em ganhos de produtividade, evidenciados pela contração de prazos e pela maior precisão nos detalhes dos projetos uma vez que a ferramenta BIM se mostra eficaz na integração de diversas disciplinas que compõem o ciclo de vida de um empreendimento. Assim, o BIM não se limita a aprimorar a visualização e análise de projetos. Ela também se propõe a fornecer informações que subsidiem a tomada de decisões em todas as etapas do empreendimento, buscando aproximar a concepção do projeto com a sua execução (Tavares, 2023).

Sob essa ótica, a metodologia BIM se baseia na utilização de bancos de dados que associam informações técnicas, financeiras e operacionais ao modelo digital, viabilizando a análise e o planejamento detalhado do empreendimento. Nesse contexto, a evolução do BIM levou à consolidação de diferentes dimensões, que expandem suas aplicações para além da representação geométrica.

2.2.2. DIMENSÕES BIM E DIVERGÊNCIAS NA LITERATURA

As diversas atividades desempenhadas pelas equipes durante a vida útil de uma edificação possibilitam a classificação do BIM em diferentes níveis de informação, denominados dimensões BIM (Miranda; Salvi, 2019). Essas dimensões correspondem à complexidade e ao detalhamento inserido no modelo, abrangendo não apenas a geometria tridimensional, mas também variáveis como tempo, custo e sustentabilidade, entre outras. Entretanto, apesar de sua ampla aceitação, as dimensões do BIM são tema de discussões e revisões constantes, refletindo a dinamicidade da tecnologia e suas aplicações práticas (Bonfante; Palmisano, 2024).

A estrutura tradicional do BIM compreende as dimensões 3D, 4D, 5D, 6D e 7D, cada uma agregando um novo nível de informação ao modelo tridimensional (Figura 3). A dimensão 3D representa a modelagem geométrica, permitindo a visualização espacial do projeto. O BIM 4D adiciona a variável temporal, viabilizando simulações de cronogramas de execução. No BIM 5D, integra-se a gestão de custos, possibilitando orçamentos dinâmicos vinculados ao modelo. A dimensão 6D trata da sustentabilidade, permitindo análises de eficiência energética e impacto ambiental. Por fim, o BIM 7D contempla a gestão e manutenção do edifício ao longo de seu ciclo de vida. Estudos apontam a segurança do trabalho como uma oitava dimensão do BIM, introduzindo diretrizes para prevenção de riscos no canteiro de obras (Silva, T. et. al 2019).

Figura 3: Dimensões consolidadas do BIM



. Fonte: Elaborada pelos autores .

A evolução do BIM tem levado a debates sobre a definição e padronização de suas dimensões. Enquanto a adoção das dimensões até 5D é amplamente aceita, a extensão para dimensões superiores gera divergências na literatura acadêmica e no setor da construção. Piaseckienė (2022) destaca que há um consenso geral sobre as cinco primeiras dimensões (1D a 5D), mas a partir da 6D não há uma definição universalmente aceita. Diferentes fontes associam as dimensões superiores a categorias variadas, como sustentabilidade, gestão do ciclo de vida e prevenção de acidentes, dificultando a padronização e a comunicação eficiente entre os envolvidos nos projetos BIM (Piaseckienė, 2022)

Essa falta de consenso impacta diretamente na implementação de processos padronizados dentro da indústria da construção. Muitas empresas adotam interpretações próprias sobre o que cada dimensão representa, tornando a colaboração entre diferentes partes interessadas um desafio. Isso pode gerar incompatibilidades entre modelos e dificultar a interoperabilidade entre *softwares* utilizados no setor.

Koutamanis (2020) argumenta que o conceito de "dimensão" deve ser restrito a propriedades primárias do objeto representado no modelo. Para ele, apenas informações essenciais, como geometria (3D) e tempo (4D), podem ser consideradas dimensões. Ele critica a expansão do conceito para incluir aspectos como custo (5D) e sustentabilidade (6D ou 7D), pois esses dados são derivados e não características inerentes ao objeto representado.

Contudo, essa visão mais restritiva é contestada por pesquisadores que defendem a importância de um BIM mais abrangente. Para esses estudiosos, a integração de novas dimensões facilita uma abordagem holística da construção, permitindo um melhor controle

dos processos e uma gestão mais eficiente dos empreendimentos ao longo do seu ciclo de vida.

Por outro lado, Koutros e Anagnostopoulos (2023) exploram a aplicação do BIM patrimonial (HBIM), enfatizando a necessidade de uma classificação dimensional além da 5D. Eles propõem um modelo até 7D para permitir uma melhor correlação entre diferentes áreas do conhecimento, incluindo aspectos históricos e de conservação. Essa abordagem ressalta como a definição das dimensões pode ser adaptada conforme o contexto e a aplicação do BIM (Koutros & Anagnostopoulos, 2023).

A expansão das dimensões BIM também abre novas possibilidades para o gerenciamento de dados dentro do setor. Um modelo BIM que contempla até 7D pode fornecer insights valiosos sobre eficiência energética, impacto ambiental e previsibilidade de manutenção, aspectos que vão além do simples planejamento e execução da obra.

Wildenauer (2020) reforça que a falta de padronização das dimensões BIM resulta em interpretações baseadas nas necessidades da indústria, contribuindo para discrepâncias na comunicação entre profissionais e empresas. Além disso, ele destaca que a maturidade digital do setor da construção varia significativamente, influenciando a adoção e a compreensão das dimensões superiores do BIM (Wildenauer, 2020).

A ausência de consenso destaca a necessidade de mais pesquisas e iniciativas de padronização para garantir uma compreensão unificada das dimensões BIM e sua aplicação na indústria da construção. Diante disso, a evolução das dimensões BIM continua sendo um tema em constante desenvolvimento. A interseção entre tecnologia, gestão de informação e padronização será fundamental para o futuro do setor da construção, garantindo que as vantagens do BIM sejam plenamente aproveitadas por todos os envolvidos.

Além das dimensões BIM, outro conceito relevante para a classificação e desenvolvimento dos projetos é o Nível de Desenvolvimento (LOD). Esse sistema complementa a estrutura das dimensões BIM ao definir os diferentes graus de detalhamento e maturidade dos modelos digitais. No próximo tópico, será explorado o conceito de LOD e sua aplicabilidade nos projetos desenvolvidos em *softwares* BIM.

2.2.3. NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO (LOD)

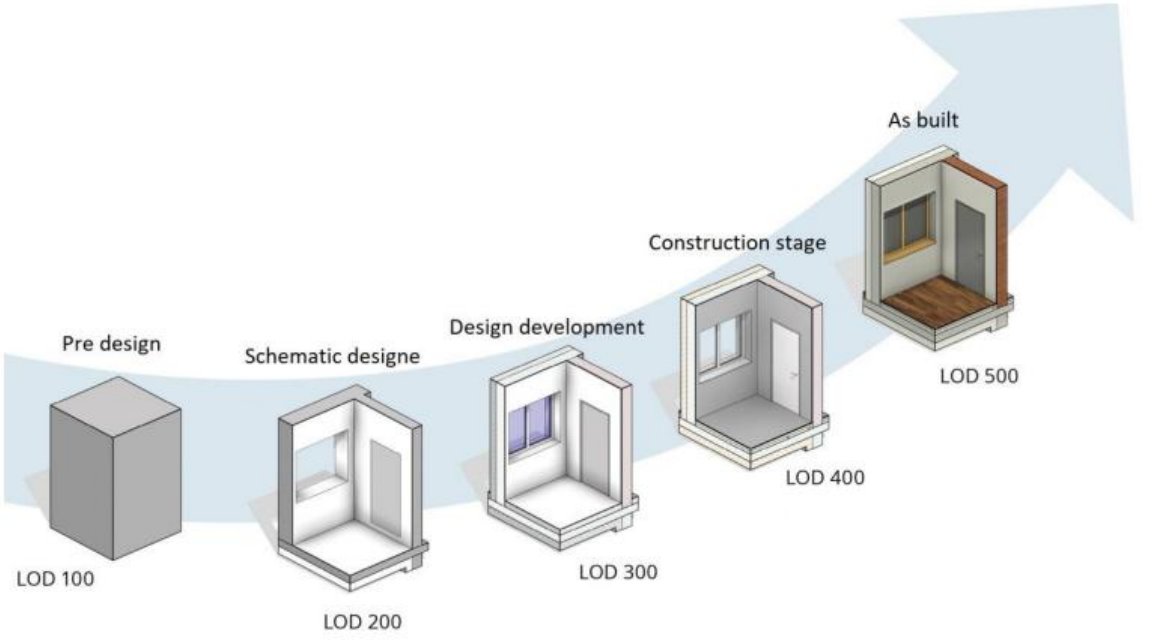
De acordo com o Instituto Americano de Arquitetos (AIA), os Níveis de Desenvolvimento LOD (*Level of Detail ou Level of Development*) podem ser definidos como uma medida da progressão temporal do desenvolvimento de um modelo, abrangendo tanto o nível de detalhe quanto as estimativas associadas (BIMForum, 2016). O Nível de Desenvolvimento (LOD) no contexto da Modelagem da Informação da Construção refere-se ao grau de detalhamento e informação contida em um modelo digital, permitindo sua aplicação em diferentes fases do ciclo de vida de um empreendimento.

Uma das principais características do LOD é a progressão do nível de detalhamento do modelo ao longo das etapas do projeto. O que proporciona maior clareza e previsibilidade na modelagem, facilitando a comunicação entre os envolvidos no projeto e na execução das diferentes etapas da obra. Segundo Martins e Buzar (2023), o nível de desenvolvimento de um modelo BIM é diretamente proporcional à quantidade e à qualidade de detalhes nele contidos. À medida que o LOD aumenta, o modelo torna-se mais preciso e completo, fornecendo informações cada vez mais detalhadas e confiáveis.

Uma característica marcante dos LODs é sua flexibilidade para se adaptar a diferentes normas e requisitos de projetos. A possibilidade de definir níveis de detalhamento distintos para cada elemento permite que o modelo BIM evolua de acordo com as necessidades específicas de cada fase do projeto. Assim, um mesmo objeto pode ter diferentes representações para cada LoD, permitindo a análise e visualização do objeto com variados graus de resolução (Zhang et al., 2022).

A classificação desse critério utiliza seis níveis básicos, cumulativos, que variam de 000 a 500, fundamentados no grau de informação dos *LOD-Graphics*. Essa escala graduada permite quantificar a precisão e o detalhamento do modelo BIM, sendo diretamente proporcional ao nível de desenvolvimento. Quanto maior o LOD, maior a quantidade e qualidade de informações associadas ao elemento (Figura 4).

Figura 4: Exemplo de detalhamento LOD



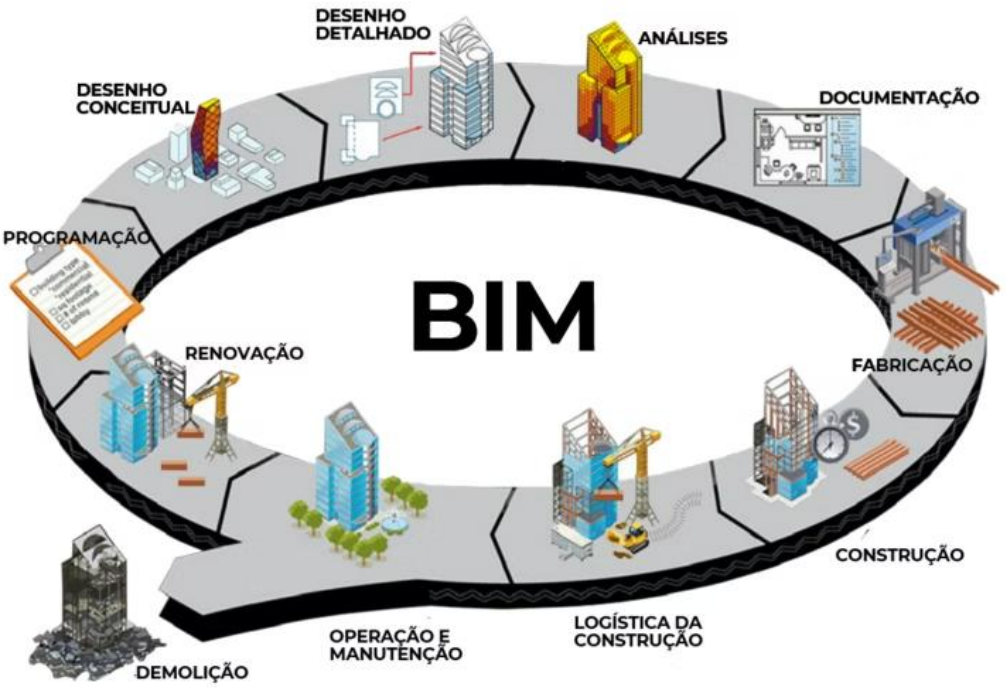
Fonte: Adaptado (Nechyporchuk; Baskova, 2021) .

A adoção de padrões bem estabelecidos para os LODs contribui para a otimizar os processos de construção e gestão de obras. Ao estabelecer critérios padronizados para a modelagem, é possível reduzir conflitos, retrabalhos e melhorar a eficiência na tomada de decisões, facilitando a interoperabilidade entre os diferentes *softwares* e plataformas utilizados. O alinhamento entre os mundos digital e físico fortalece a confiabilidade das informações geradas e aprimora a eficiência dos processos construtivos. Nesse contexto, o BIM se destaca como a tecnologia chave para construir essa representação digital, uma vez que estabelece modelos de informação correspondentes para os componentes alvo (Zhang et al., 2022).

2.2.4. INTEROPERABILIDADE E IFC

Consonante a Rakib et al., (2020), a interoperabilidade refere-se à capacidade de trocar dados entre diferentes ferramentas de *software* sem perder informações ou funcionalidades, promovendo um trabalho colaborativo e compartilhado. No contexto do ambiente BIM, ela pode ser entendida como a capacidade de sistemas computacionais e organizações diferentes de intercambiar informações de maneira clara e precisa, assegurando a integridade e a fidelidade dos dados ao longo de todo o ciclo de vida da construção (Figura 5).

Figura 5: BIM integrado ao ciclo de vida da edificação



. Fonte: Crasa, 2020 .

A fragmentação da cadeia produtiva, a falta de padronização na troca de informações entre sistemas, a falta de transparência nos processos e a baixa qualidade de gerenciamento são fatores que, segundo Aouad (2000), dificultam a integração de tecnologias e informações na indústria da construção. A integração dos projetos e a troca de informações entre os projetistas são, portanto, elementos cruciais para a qualidade do produto final.

Nesse contexto, a BuildingSMART, organização internacional sem fins lucrativos, desenvolveu o formato de arquivo IFC (*Industry Foundation Classes*), que permite o compartilhamento de informações entre diferentes programas, independentemente de seus formatos nativos.

Pacheco, Delegrego e Pereira (2010) e Sousa (2019), corroboram essa ideia, afirmando que a extensão .ifc é o formato de arquivo padrão para a transferência de modelos BIM, uma vez que se mostra como uma extensão de arquivo neutra, aberta e com especificações padronizadas, ou seja, a grande maioria dos *softwares* BIM são capazes de reconhecê-lo permitindo um intercâmbio das informações entre as mais diversas etapas do ciclo de vida de uma construção. Dessa forma, para que uma ferramenta seja considerada aderente à metodologia BIM, é imprescindível que ela possua interoperabilidade com o formato IFC.

Contudo, a colaboração ativa e interativa entre os projetistas é fundamental para o bom fluxo de projetos em BIM, possibilitando a identificação de incompatibilidades por meio de análises de interferências e do próprio processo de projeto. A gestão da informação no desenvolvimento de projetos, conforme destacado por Campestrini et al. (2015), impacta diretamente a qualidade final do produto. As informações devem estar disponíveis aos profissionais em todas as etapas do projeto, uma vez que tomadas de decisão imprecisas podem gerar retrabalho e comprometer a qualidade do projeto (Campestrini et al., 2015).

A interoperabilidade está diretamente ligada à troca de informações entre sistemas BIM, e é frequentemente reduzida à integração de objetos (Shehzad et al., 2021). No entanto, a interoperabilidade transcende a mera integração técnica, abrangendo dimensões semânticas e organizacionais que, juntas, garantem a colaboração eficaz em projetos da indústria da construção.

Nesse contexto, Shehzad et al. (2021) destaca três características da interoperabilidade em projetos BIM: a interoperabilidade técnica, a interoperabilidade semântica e a interoperabilidade organizacional.

- Interoperabilidade Técnica: Capacidade de diferentes *softwares* BIM trocarem informações de forma eficiente, sem perda de dados ou inconsistências. Essencial para garantir que os dados sejam lidos e manipulados corretamente por diversas ferramentas, evitando retrabalho e erros.
- Interoperabilidade Semântica: Garante que a informação compartilhada entre os sistemas preserve seu significado original, evitando ambiguidades na interpretação dos dados. Fundamental para uma comunicação clara e precisa entre os profissionais e *softwares* envolvidos no projeto.
- Interoperabilidade Organizacional: Alinhamento de processos de negócio, estruturas corporativas e fluxos de trabalho para promover uma colaboração eficiente entre as partes. Essencial para integrar as diversas equipes e garantir que todos trabalhem de forma coordenada em prol dos objetivos do projeto.

A interoperabilidade, viabilizada pelo formato IFC, desempenha um papel estratégico na metodologia BIM, não apenas aprimorando a colaboração e a confiabilidade dos modelos digitais, mas também estabelecendo a base necessária para a implementação de abordagens avançadas, como o BIM 4D. Ao incorporar a variável temporal aos modelos tridimensionais,

o BIM 4D possibilita o planejamento e a gestão detalhada das fases construtivas, promovendo maior controle sobre prazos, recursos e sequenciamento de atividades. Dessa forma, a interoperabilidade não se limita à compatibilização de arquivos, mas constitui um elemento essencial para o fluxo contínuo e estruturado de informações, garantindo previsibilidade e eficiência na gestão de projetos dentro do conceito da construção civil.

2.3. BIM 4D

A dimensão 4D refere-se ao aspecto temporal do projeto e sua visualização fornece uma ilustração de como o projeto evoluirá ao longo do tempo (Nechyporchuk; Baskova, 2021). O BIM 4D representa uma evolução significativa na indústria da construção, integrando o planejamento temporal ao modelo tridimensional. Essa abordagem permite a vinculação entre elementos do projeto e o cronograma da obra, viabilizando uma gestão mais precisa dos prazos e recursos. Conforme Rodrigues et al. (2017), essa modelagem permite que o planejamento da construção esteja atrelado ao modelo 3D, oferecendo uma melhor previsibilidade sobre a execução das etapas.

Ao incorporar a dimensão temporal ao BIM, torna-se possível antecipar a sequência de execução e simular os impactos de alterações no cronograma. Motter e Campelo (2014) destacam que a modelagem 4D possibilita o planejamento de diferentes estratégias construtivas, permitindo ajustes para melhorar a logística e a eficiência da obra. Dessa forma, gestores e engenheiros podem prever cenários alternativos e minimizar riscos operacionais.

A partir dessas vantagens, observa-se que a integração do BIM 4D não se limita à visualização da obra ao longo do tempo, mas também contribui diretamente para o aperfeiçoamento do planejamento. A capacidade de prever eventos e reorganizar atividades antes da execução pode melhorar a distribuição de recursos e a alocação das equipes. Essa assertividade reduz desperdícios e possibilita um controle mais eficiente dos prazos estabelecidos.

Eastman et al. (2014) afirmam que o modelo 4D aprimora a comunicação entre as partes interessadas ao representar visualmente o progresso do projeto. Com isso, é possível detectar interferências antes da fase de execução e ajustar o cronograma conforme necessário. Ademais, Campestrini et al. (2015) ressaltam que o uso da modelagem 4D permite maior

controle sobre a sequência de atividades, reduzindo conflitos entre disciplinas e otimizando a produtividade no canteiro de obras.

O histórico do BIM 4D evidencia sua evolução como uma ferramenta estratégica para a gestão de projetos de construção. De acordo com Brito e Ferreira (2015), cronogramas tradicionais não oferecem representação espacial das atividades, enquanto o BIM 4D permite visualizar as relações entre espaço e tempo. Fischer, Haymaker e Liston (2005) complementam que essa tecnologia auxilia na tomada de decisões ao permitir comparações entre diferentes planos de execução.

Dessa forma, percebe-se que a modelagem 4D não apenas melhora a visualização das etapas de construção, mas também viabiliza um planejamento mais robusto e confiável. O aprofundamento dessa tecnologia inclui a capacidade de integrar o modelo com simulações logísticas, verificando impactos no fluxo de materiais e na gestão de equipamentos. Como resultado, há um aumento significativo na previsibilidade e no controle das obras.

Entre as principais funcionalidades do BIM 4D, destacam-se:

- Visualização temporal: Permite acompanhar a evolução do projeto ao longo do tempo;
- Simulação de cenários: Possibilita testar diferentes cronogramas e estratégias de execução;
- Otimização logística: Auxilia na gestão de materiais, espaços e equipamentos no canteiro de obras;
- Redução de riscos: Identifica possíveis problemas antes da execução, evitando atrasos e retrabalhos;
- Aprimoramento da comunicação: Facilita a colaboração entre equipes multidisciplinares.

A adoção do BIM 4D tem transformado significativamente o setor da construção civil, proporcionando um planejamento mais preciso e eficiente. Essa abordagem permite que a execução das atividades seja simulada digitalmente, facilitando a visualização das etapas e reduzindo incertezas no cronograma da obra. Assim, a integração do fator tempo ao modelo tridimensional fortalece a tomada de decisões estratégicas durante todo o ciclo de vida do projeto.

Uma das principais vantagens do BIM 4D é a melhoria na coordenação entre equipes multidisciplinares, uma vez que possibilita a identificação antecipada de conflitos e sobreposições entre atividades. Segundo Grytting et al. (2017), a adoção dessa tecnologia melhora a comunicação entre os envolvidos, permitindo que ajustes sejam realizados antes da fase de execução, otimizando a produtividade e reduzindo retrabalhos.

Outro benefício importante do BIM 4D é a sua capacidade de aprimorar a logística do canteiro de obras. Zhang e Hu (2011) destacam que essa ferramenta auxilia na organização do armazenamento de materiais, no deslocamento de equipamentos e na definição de rotas de transporte, garantindo maior eficiência operacional. Esse planejamento detalhado contribui para a redução de custos e para a mitigação de atrasos inesperados.

Apesar dos benefícios, a implementação do BIM 4D ainda enfrenta desafios significativos. Um dos principais entraves é a necessidade de padronização dos processos e integração entre diferentes plataformas digitais. Butkovic e Heesom (2017) apontam que a falta de compatibilidade entre *softwares* pode dificultar a interoperabilidade dos modelos, gerando retrabalhos e comprometendo a eficiência da metodologia.

Além disso, a capacitação da mão de obra é um fator crítico para o sucesso da adoção do BIM 4D. Nechyporchuk e Baskova (2021) ressaltam que a introdução dessa tecnologia exige treinamento especializado para que os profissionais possam explorar todo o potencial do modelo. A resistência à mudança e a curva de aprendizado prolongada também são desafios enfrentados pelas empresas que buscam implementar essa abordagem.

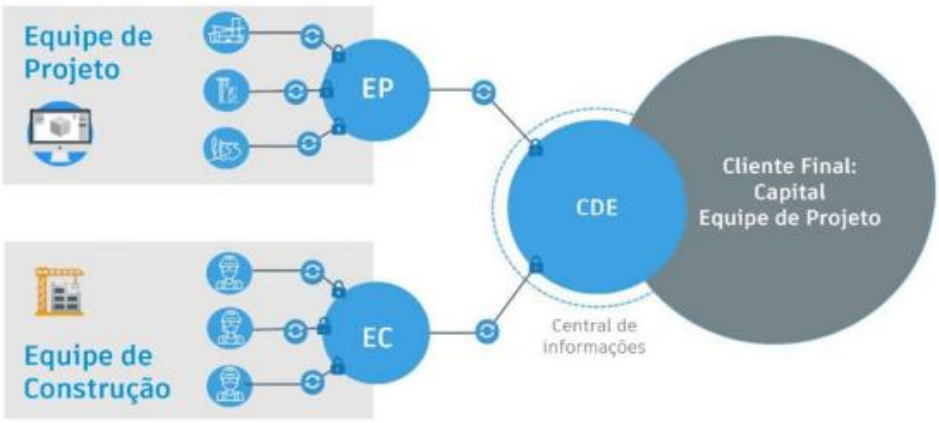
A alta demanda por investimentos iniciais representa outro obstáculo para a disseminação do BIM 4D. Segundo Azhar (2011), os custos associados à aquisição de *softwares*, *hardware* especializado e capacitação profissional podem ser elevados, tornando a adoção da tecnologia menos acessível para pequenas e médias empresas do setor da construção.

A integração entre o modelo BIM e o planejamento de obra representa uma revolução na forma como projetos são gerenciados. Além de garantir maior previsibilidade e eficiência, o BIM 4D abre caminho para a otimização dos processos construtivos, promovendo uma gestão mais assertiva e minimizando desperdícios. No entanto, sua implementação também apresenta desafios que precisam ser superados, como será discutido no próximo subtópico sobre as vantagens e desafios da adoção do BIM 4D.

A integração do modelo 3D com o 4D no BIM requer um gerenciamento eficiente das informações, o que é viabilizado por um Ambiente Comum de Dados (CDE, do inglês Common Data Environment). Esse ambiente desempenha um papel essencial na administração e controle das informações ao longo do ciclo de vida do empreendimento, garantindo armazenamento seguro, rastreabilidade e gestão dos fluxos documentais. De acordo com a ABNT NBR ISO 19650-1:2022, a adoção de um CDE é recomendada para assegurar a qualidade e a segurança da informação, além de permitir o acesso estruturado aos dados por todos os envolvidos no processo, conforme ilustrado na Figura 6.

Com a gestão estruturada desses processos, torna-se possível a verificação e análise detalhada das informações por meio de revisões do modelo. Vale destacar que a adoção do CDE é aplicável a qualquer organização, independentemente do seu caráter público ou privado, abrangendo diversas áreas da indústria da construção. Além disso, essa plataforma digital pode ser inovadora utilizando diferentes tecnologias, adaptando-se às necessidades e especificidades de cada projeto e consecutivas gestão de obra. (Limeira, 2024).

Figura 6: Esquema CDE



. Fonte: ABNT, 2022 .

2.3.1. BIM NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

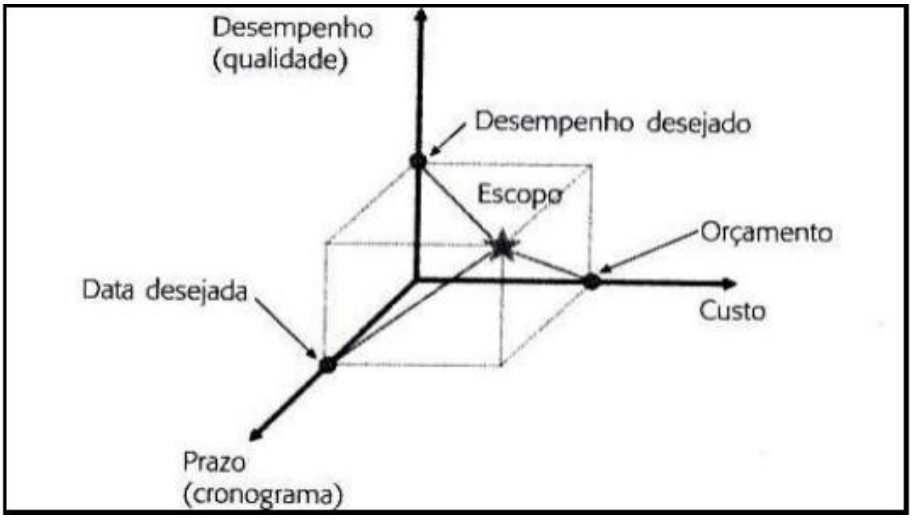
A definição precisa do escopo, aliada a um planejamento eficaz e a um controle rigoroso, é fundamental para assegurar a satisfação das partes envolvidas na fase de execução. Nesse contexto, a gestão do escopo desempenha um papel estratégico ao estabelecer diretrizes

padronizadas para os processos e métodos aplicados, garantindo que a obra seja conduzida de acordo com os objetivos estabelecidos. (Maximiano e Veronese, 2022).

Diante do exposto, ressalta-se a importância de um escopo bem estruturado e devidamente controlado pelo profissional responsável pela obra. Dessa forma, os procedimentos podem ser monitorados de forma eficiente, permitindo a rápida identificação e resolução de mudanças inesperadas ou dificuldades na comunicação entre os *stakeholders*, garantindo a convergência para um consenso satisfatório.

A Figura 7 de Vargas (2018) demonstra que o escopo do projeto é delineado por um conjunto de diretrizes que abrangem seus principais eixos, sendo o desempenho um fator central na definição da qualidade. Esse desempenho é diretamente influenciado por um planejamento estruturado, que considera metas previamente estabelecidas, orçamento definido, custos projetados, prazos estipulados e a data desejada para a entrega.

Figura 7: O escopo e seus eixos principais como fatores fundamentais do projeto



. Fonte: Vargas (2018) .

Em termos de administrativo de obras, tem-se o planejamento como uma das peças chaves para obter bons resultados, este abrange a análise detalhada do projeto, a definição da metodologia de execução e a elaboração de um cronograma consolidado com as programações. Esse processo baseia-se na coordenação e integração das informações, garantindo a compatibilização dos dados para a realização da obra dentro de um prazo viável e alinhado aos recursos disponíveis. Devido ao dinamismo, à mutabilidade e aos imprevistos inerentes à construção, a programação está frequentemente sujeita a alterações. Por isso, um

acompanhamento eficaz do processo é essencial, permitindo a comparação contínua entre o que foi planejado e o que está sendo executado, viabilizando ajustes sempre que necessário. (Mattos, 2019)

Para o monitoramento de obras efetivo, Mattos (2019) define três etapas essenciais: aferição do progresso, onde a equipe mede o avanço das atividades em relação ao cronograma; atualização do planejamento, que ajusta o cronograma conforme os dados coletados; e interpretação do desempenho, onde se analisam tendências de atraso e as causas das diferenças entre o planejado e o executado. Essas etapas garantem um controle eficaz da obra, permitindo correções e otimização do desempenho.

Para fins de verificação e comparação, a coleta de dados de campo em uma obra para avaliar seu progresso é denominada apropriação. Segundo Mattos (2019), existem diferentes métodos de apropriação, como unidades físicas, rateio (percentual), marcos ponderados e por data. O método mais recomendado é a apropriação por unidades físicas, utilizado quando a tarefa pode ser medida com precisão no canteiro de obras, como, por exemplo, execução de fôrmas, em metros quadrados (Da Silva et al, 2022).

Com o exposto, tem-se o monitoramento do progresso como fundamental para a gestão de projetos de construção, pois permite acompanhar o andamento das atividades, garantindo que o trabalho seja realizado dentro do cronograma e do orçamento estipulados. Uma avaliação precisa do progresso permite que os gestores tomem decisões mais assertivas, otimizando o controle de custos e prazos. No entanto, as abordagens tradicionais de monitoramento dependem de considerável intervenção manual, tornando o processo mais demorado e suscetível a erros humanos. Diante disso, ter um sistema tecnológico ao qual realiza de maneira efetiva e rápida o monitoramento sem a necessidade de medições em campo auxilia na minimização de riscos de inspeções dos processos, além de viabilizar a celeridade do processo. (Panearu e Jeelani, 2021).

O planejamento da construção envolve a alocação de atividades no tempo e no espaço, de maneira consecutivas, em que as restrições de recursos dos diversos âmbitos são consideradas. Tradicionalmente, o acompanhamento dos ciclos eram efetuados através de diagramas, que ainda é utilizado em diversos empreendimentos, mas que não detalha de maneira concisa a razão ou o modo de conexão das atividades na sequência, além de

apresentarem complexidades na identificação do caminho crítico, que é fator primordial para definição de prazos de entregas. (Saccks, Eastman et al., 2021).

Os métodos tradicionais de planejamento apresentam limitações na integração dos aspectos espaciais das atividades e na conexão direta com o modelo da construção. Durante a fase de elaboração do projeto, a programação é feita manualmente, demandando um esforço intenso e sujeito a inconsistências. Essa abordagem frequentemente resulta em falta de sincronia com o projeto, dificultando a visualização do cronograma e seu impacto na logística do canteiro de obras, o que compromete a eficiência da execução. (Saccks, Eastman et al., 2021).

Atualmente, a adoção de *softwares* com dimensão 4D do BIM se destaca ao integrar a modelagem digital com o planejamento temporal da obra, possibilitando simulações, monitoramento em tempo real e otimização de recursos. Essa tecnologia aprimora a comunicação entre as equipes, reduz riscos, aumenta a segurança e minimiza desperdícios, garantindo maior eficiência na execução. Além disso, facilita a identificação de atrasos e conflitos, permitindo ajustes estratégicos no cronograma e contribuindo para uma gestão mais precisa e sustentável da construção.

Neste aspecto, a ABNT NBR ISO 19650-1:2022 caracteriza o BIM como a aplicação de um modelo digital unificado de uma edificação, possibilitando uma referência confiável para a tomada de decisões em todas as suas etapas. Essa metodologia aprimora o desenvolvimento do projeto, a execução da obra e a gestão operacional, garantindo maior eficiência, integração e controle das informações.

Conforme apontado por Gomes e Sette (2021), a implementação do BIM 4D, envolve um processo estruturado em duas fases principais: a concepção e modelagem, seguidas pelo planejamento. Inicialmente, o projeto é criado em um modelo BIM, no qual são reunidas informações detalhadas sobre os elementos construtivos.

Na etapa de coordenação BIM 3D, diversas funcionalidades são aplicadas para melhorar a gestão do projeto, como:

- Navegação interativa em modelos tridimensionais;
- Importação de arquivos de nuvem de pontos originados por digitalização a laser;
- Criação de animações e imagens fotorrealistas;

- Execução de medições precisas;
- Realização de anotações e revisões com o uso de *Markups*;
- Detecção de conflitos e interferências por meio do *Clash Detection*.

Na fase de planejamento BIM 4D, o modelo digital é integrado ao cronograma da obra, permitindo:

- Conexão entre cronogramas de trabalho e ferramentas de gestão de projetos;
- Gerenciamento de dados por meio de planilhas e programas de planejamento;
- Importação e exportação de dados em formato CSV (do inglês: Comma-Separated Values), promovendo maior interoperabilidade;
- Associações entre componentes construtivos e suas respectivas tarefas;
- Simulação da sequência de construção ao longo do tempo;
- Avaliação de desvios em relação ao cronograma original, possibilitando ajustes no planejamento.

Essas etapas contribuem para uma maior coordenação e execução do projeto, assegurando precisão, eficiência e um controle aprimorado sobre todas as fases da obra.

Apesar da crescente evidência sobre a eficiência das tecnologias no acompanhamento e medições de obras, a implantação de ferramentas digitais no setor da construção ainda enfrenta desafios significativos. Segundo pesquisas realizadas pela Associação Brasiliense de Construtores (ASBRACO), um dos principais obstáculos dentro das empresas é a resistência cultural com equipes acostumadas a processos tradicionais, além de custo inicial elevado, falta de padronização e complexidade dos projetos. Embora as tecnologias digitais ofereçam grande potencial para otimizar os processos, sua implementação bem-sucedida exige superar uma série de barreiras. Dentro dos aspectos supracitados, enquadram-se as dimensões integradas do *Building Information Modeling* (BIM).

2.4. SOFTWARES BIM 4D

Dentro das vertentes apresentadas, o BIM 4D surge como uma abordagem essencial para a integração da variável tempo nos processos construtivos, permitindo o planejamento e a simulação do cronograma de execução de obras de forma dinâmica e visual.

Nesse aspecto, diversos *softwares* especializados foram desenvolvidos para oferecer suporte a essa metodologia, auxiliando no sequenciamento de atividades, na detecção de

interferências temporais e na otimização dos prazos de entrega, tais como Autodesk Navisworks, Synchro PRO e QiVisus.

Entretanto, cabe destacar que a associação entre um modelo tridimensional e um cronograma não é uma novidade, tendo sido explorada há mais de duas décadas. Um exemplo clássico dessa abordagem é o estudo desenvolvido por Koo e Fischer (1998), no qual os autores apresentaram um modelo 4D capaz de demonstrar visualmente a construção dos componentes da edificação de acordo com a sequência planejada. (Dias, 2021)

Essa vinculação entre aspectos físicos e temporais da obra amplia a capacidade de identificar antecipadamente potenciais problemas, proporcionando maior previsibilidade e eficiência ao planejamento. Além disso, o modelo possibilita a interação entre múltiplos participantes, promovendo a comunicação e a colaboração na gestão da construção. A aplicação dessa metodologia também permite a realização de análises detalhadas do planejamento, contribuindo para um controle mais preciso da execução da obra e para a redução de riscos (Dias, 2021).

Dias (2021) explorou o planejamento em BIM 4D como uma abordagem inovadora na construção de silos metálicos planos, evidenciando seu papel na otimização do processo construtivo. A pesquisa compreendeu a modelagem tridimensional do projeto, a elaboração do cronograma e o desenvolvimento do modelo 4D no *software* Autodesk Navisworks, permitindo a simulação virtual da execução da obra.

Entre os principais benefícios observados na pesquisa supracitada, destaca-se a antecipação de conflitos entre tempo e espaço, viabilizada pela simulação no ambiente digital. A análise em questão identificou 22 interferências, cuja resolução resultou em uma redução expressiva do prazo de entrega. O cronograma inicial de 243 dias foi ajustado para 170 dias, representando uma redução de aproximadamente 30% no tempo total de execução. Além disso, a revisão da sequência construtiva otimizou a distribuição das equipes no canteiro de obras, evitando sobreposições de atividades e melhorando a eficiência operacional.

A implementação do BIM 4D promoveu mudanças significativas no planejamento e na execução da obra, abrangendo todas as etapas do ciclo construtivo, desde o projeto até o acompanhamento da construção. Os ganhos incluem maior colaboração entre equipes, aprimoramento da comunicação, visualização antecipada da edificação, identificação e mitigação de conflitos, redução de riscos e otimização do sequenciamento construtivo.

Assim, o estudo reafirma a relevância do BIM 4D como uma ferramenta essencial para a gestão integrada de projetos na construção civil, contribuindo para a redução de incertezas e o aumento da eficiência (Dias, 2021).

2.4.1. NAVISWORKS

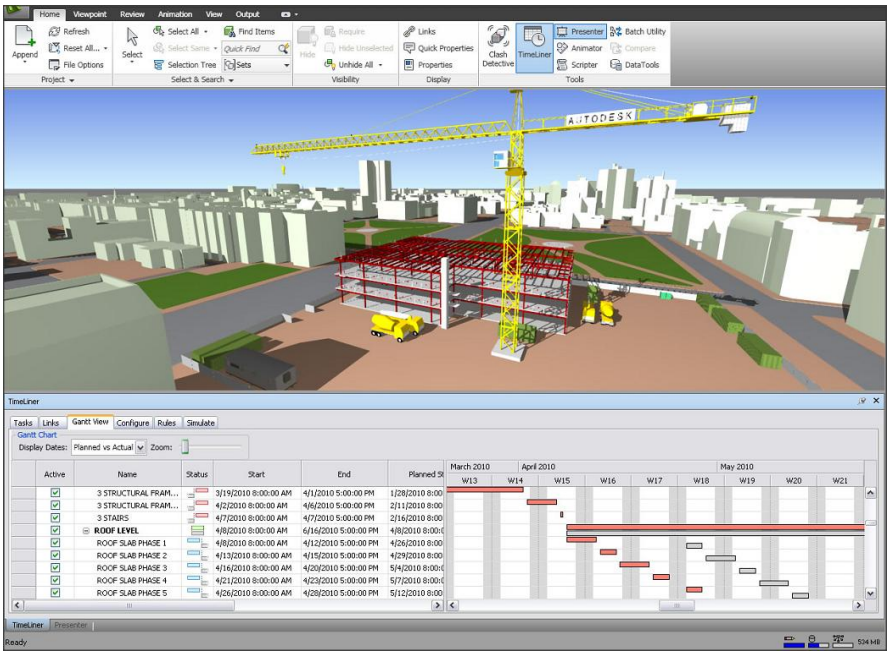
O Navisworks é um *software* desenvolvido pela Autodesk, voltado para a revisão, coordenação e simulação de projetos em BIM 4D. Sua principal função é permitir a integração de modelos tridimensionais provenientes de diferentes disciplinas, facilitando a detecção de interferências e promovendo um fluxo de trabalho mais eficiente durante o desenvolvimento e a execução do projeto. Além disso, a plataforma possibilita a simulação e análise do cronograma da obra, permitindo que os planejadores visualizem as etapas construtivas de forma sequencial e identifiquem possíveis incompatibilidades antes da execução no canteiro de obras (Autodesk, 2023).

Uma das principais funcionalidades do Navisworks é a detecção de conflitos (*clash detection*), que permite a identificação automática de inconsistências entre os diferentes elementos do projeto. Essa capacidade ajuda evitar retrabalhos e custos adicionais decorrentes de falhas de compatibilização entre disciplinas, como estrutura, instalações elétricas e hidráulicas (Eastman et al., 2011). Através dessa abordagem, o *software* contribui para a melhoria da qualidade e confiabilidade das informações do modelo, garantindo maior assertividade na tomada de decisões durante as fases de planejamento e execução da obra.

Além da detecção de conflitos, o Navisworks oferece ferramentas avançadas de simulação 4D, permitindo a vinculação dos modelos 3D a um cronograma de execução. Essa funcionalidade possibilita a visualização do avanço da obra ao longo do tempo, tornando a gestão do projeto mais eficiente e previsível.

Outro aspecto relevante do Navisworks é sua compatibilidade com diversos formatos de arquivos, incluindo IFC, DWG, RVT e NWC, permitindo a integração de informações provenientes de diferentes *softwares* BIM. Isso faz com que a plataforma se mostre como uma ferramenta versátil para a validação e coordenação de projetos, promovendo um ambiente colaborativo entre projetistas, engenheiros e gestores da construção civil (Hardin e McCool, 2015). Tem-se na Figura 8 a apresentação da interface desta ferramenta.

Figura 8: Interface do Navisworks.



. Fonte: Projeto Batente, 2020 .

Dentro do *software* Navisworks, é possível construir uma linha do tempo vinculada à Estrutura Analítica de Projetos (EAP) e à execução dos serviços, com o objetivo de gerar o cronograma do projeto no formato BIM 4D. De acordo com Okere e Amoah (2024), a integração do modelo 3D com o tempo no Navisworks proporciona uma visualização da sequência das atividades, facilitando a análise da execução e contribuindo para a coordenação da obra.

Ademais, o uso de *softwares* de simulação 4D, como o Navisworks, vai além da criação do cronograma, pois possibilita a detecção de conflitos espaciais e temporais, além de otimizar o planejamento de recursos. Sanon e Boton (2024) ressaltam que a simulação 4D permite identificar potenciais problemas de logística e interferências entre as atividades antes da execução real, proporcionando uma gestão mais eficiente do tempo e recursos disponíveis. A partir dessa integração, o software constrói o cronograma de execução, considerando os dias úteis disponíveis, e possibilita inserir as datas de início das etapas executivas e suas durações.

Logo, o uso da ferramenta de *timeline* no *software* Navisworks está associado à mão de obra necessária para a execução dos serviços, que deve ser dimensionada para se adequar ao cronograma gerencial da obra. A produtividade dessa mão de obra é um aspecto importante

a ser analisado, uma vez que impacta diretamente no cumprimento dos prazos e na otimização de recursos. Nesse contexto, Sanon e Boton (2024) destacam que o uso do 4D scheduling facilita a identificação das necessidades de recursos, permitindo uma alocação mais eficiente de mão de obra e uma melhor gestão do tempo, o que é fundamental para a execução bem-sucedida do projeto.

2.5. SUBSISTEMA DE SPRINKLERS

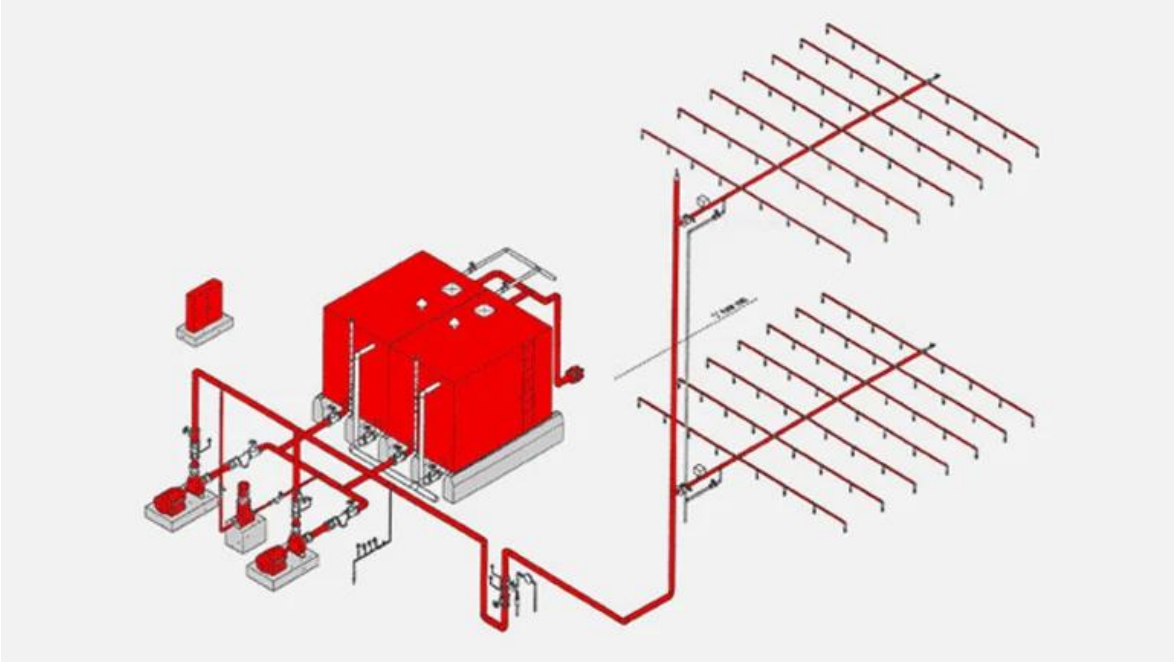
A proteção contra incêndios em edificações constitui um desafio crítico no Brasil, especialmente considerando o grande número de construções antigas que não atendem às normas atuais de segurança. A ausência de sistemas de combate eficientes expõe ocupantes e patrimônios a riscos significativos, tornando imprescindível a adoção de soluções modernas e eficazes para prevenção e controle de incêndios. (Castelo, 2024)

O Instituto Sprinkler Brasil, organização sem fins lucrativos, atua na promoção e disseminação do uso de sprinklers como método eficiente de prevenção e combate a incêndios. Além disso, realiza monitoramento contínuo de ocorrências em todo o país, disponibilizando informações que muitas vezes não são divulgadas pelos Corpos de Bombeiros estaduais, contribuindo para um mapeamento mais preciso da realidade da segurança contra incêndios no Brasil (Castelo et al. Lima, 2024).

A prevenção de incêndios em edificações é um dos pilares da segurança predial, e o subsistema de sprinklers destaca-se como um dos mecanismos mais eficazes para a detecção e supressão precoce do fogo. Os sprinklers são dispositivos automáticos que liberam água diretamente na área afetada, contribuindo para limitar a propagação das chamas, reduzir danos materiais e, sobretudo, salvar vidas (ABNT, 2020).

A Figura 9 apresenta uma esquematização sintetizada do subsistema de sprinklers.

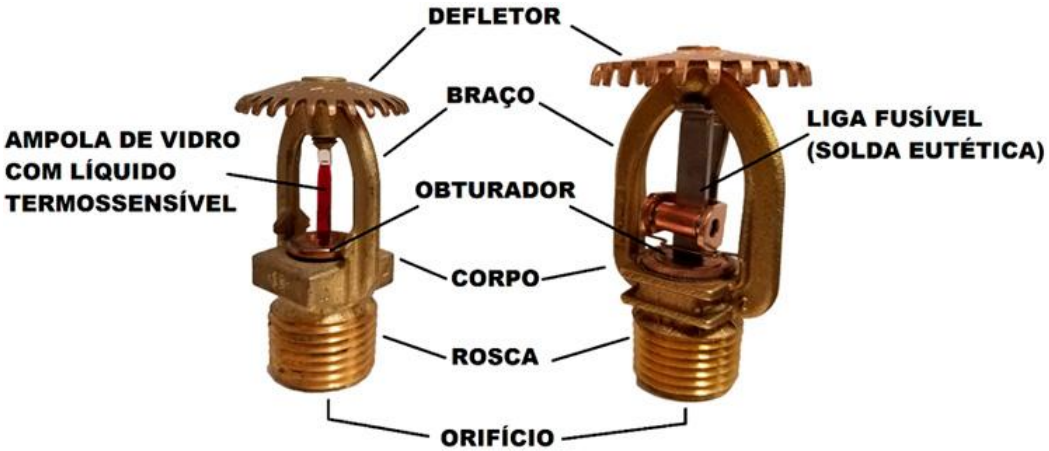
Figura 9: Esquematização do subsistema de sprinklers



. Fonte: Skop, 2016 .

Cada chuveiro é equipado com um bulbo termossensível preenchido com líquido, que atua como elemento de disparo (Figura 10). Enquanto o sistema permanece inativo, o bulbo mantém o fechamento do bico, impedindo a saída de água. A ativação ocorre quando a temperatura ambiente excede o ponto crítico indicado pelo líquido, cuja coloração identifica a temperatura de acionamento específica (NBR 10.897, ABNT, 2020). Normalmente, recomenda-se a utilização de chuveiros de temperatura ordinária (57 ºC a 77 ºC), podendo variar conforme o risco associado à edificação, seja ele ordinário ou extraordinário.

Figura 10: Componentes do sprinkler



. Fonte: Eary Engenharia, 2021 .

Consoante ao disposto anteriormente acerca da variação da coloração tem-se a Figura 11 com as respectivas classificações.

Figura 11: Temperatura de acionamento

Máxima Temperatura Teto (ºC)	Limites de Temperatura (ºC)	Classificação da Temperatura	Cor do Bulbo de Vidro
38	57 - 77	Ordinária	Vermelho/Laranja
66	79 - 107	intermediária	Amarelo/Verde
107	121 - 149	Alta	Azul
149	163 - 191	Extra-Alta	Roxa
191	204 - 246	Extra-Extra-Alta	Preta
246	260 - 302	Ultra-Alta	Preta
329	343	Ultra-Alta	Preta



. Fonte:Tomé, 2019 .

A distribuição dos sprinklers deve ser planejada com base na ocupação, altura do pé-direito, compartimentação e tipos de materiais presentes, garantindo cobertura adequada de todas as áreas (Skop, 2016). Além disso, a compatibilidade com outros sistemas prediais, como instalações elétricas, HVAC e estruturas, é fundamental para evitar interferências que comprometam a eficácia do sistema (Petersen; Jensen, 2020).

Com o avanço das tecnologias digitais, o BIM 4D surge como uma ferramenta estratégica para a gestão da instalação de sprinklers, permitindo integrar o modelo tridimensional do edifício com o cronograma de execução. Essa abordagem facilita a identificação de conflitos entre disciplinas, a visualização do avanço físico da obra, a estimativa precisa de quantitativos de materiais e o planejamento das atividades de instalação (Pishdad-Bozorgi et al., 2018; Ahmed, 2018). O BIM 4D permite, portanto, não apenas a simulação do processo construtivo, mas também a otimização de produtividade e coordenação das equipes envolvidas na execução do sistema.

Estudos demonstram que a implementação de sprinklers em edificações reduz significativamente a propagação de incêndios e os riscos de fatalidades, destacando sua importância em projetos residenciais, comerciais e industriais (NFPA, 2019). Quando associado ao planejamento digital, o sistema torna-se ainda mais eficiente, possibilitando decisões estratégicas baseadas em dados precisos, mitigando riscos e otimizando custos de instalação e manutenção.

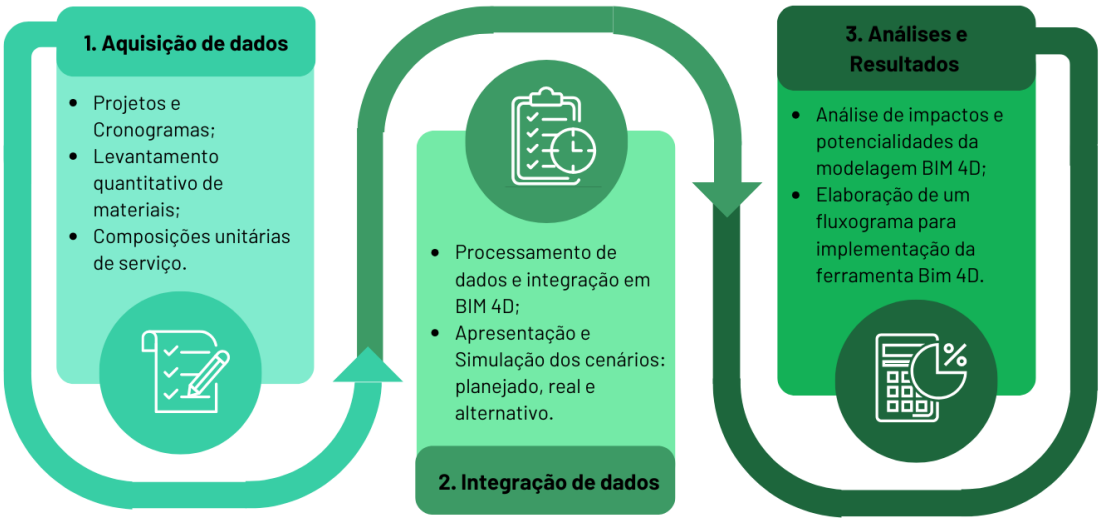
Em síntese, o subsistema de sprinklers é um componente crítico da segurança predial, cuja eficiência depende não apenas da correta seleção e instalação dos dispositivos, mas também da coordenação entre disciplinas e do planejamento detalhado das atividades construtivas, áreas em que a integração com o BIM 4D apresenta resultados promissores.

3. METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um modo de produção de conhecimento desenvolvido a partir de pesquisa construtiva. Para tanto, este capítulo tem por objetivo apresentar os procedimentos adotados para o desenvolvimento deste trabalho, descrevendo as etapas, os métodos e as ferramentas utilizadas na obtenção e análise dos dados. A abordagem metodológica foi definida com base nos objetivos da pesquisa, de maneira a atender o rigor técnico e coerência com a problemática integrada.

Neste trabalho, o método definido envolve o desenvolvimento do planejamento de um serviço da obra baseada na modelagem BIM 4D, com o objetivo de analisar a interferência em tomadas de decisão no projeto, planejamento e controle do sistema construtivo. Para o exposto, o delineamento da pesquisa foi dado pelo sequenciamento disposto na Figura 11.

Figura 11: Delineamento da pesquisa



. Fonte: Elaborada pelos autores, 2025 .

3.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS

Em virtude da necessidade da aquisição e consolidação de dados, esta etapa do estudo consistiu no levantamento sistemático de todas as documentações necessárias para uma análise efetiva das fases construtivas da obra. Esse processo inicial, de caráter essencialmente diagnóstico, permite reunir os elementos que fundamentam o entendimento da lógica produtiva do empreendimento, assegurando que as informações provenientes das diferentes disciplinas estejam devidamente alinhadas, padronizadas e acessíveis.

Desta maneira o banco de dados é consolidado com os projetos e cronogramas referentes a obra objeto de estudo, o levantamento quantitativo de materiais necessários para a execução do subsistema de - combate à incêndio - sprinklers, bem como as composições unitárias de serviços associadas a estrutura analítica do projeto da obra em questão. A partir dessa organização preliminar, torna-se possível avançar para a integração do modelo IFC ao cronograma, etapa crucial para viabilizar a modelagem e o planejamento da obra em ambiente BIM 4D.

3.1.1. PROJETOS E CRONOGRAMAS

Para o início do desenvolvimento desta pesquisa, foi realizado o contato com o gestor e o setor de projetos da obra, a fim de viabilizar a obtenção dos arquivos das disciplinas estruturais, arquitetônicas e do subsistema de sprinklers referentes à torre selecionada, para entender o produto do empreendimento em análise e realizar as devidas consolidações. Os modelos correspondentes foram disponibilizados no portal da obra, tanto nos formatos 2D quanto 3D, juntamente com os cronogramas de entregas alinhados aos ciclos construtivos.

Foram coletadas as informações acerca dos projetos supracitados, porém para fins de análise do presente estudo realizou-se uma delimitação do subsistema construtivo e de projetos a serem vinculados no *software* escolhido para o manuseio dos dados.

A escolha do *software* deu-se em função da disponibilidade de licença estudantil, baixa complexidade em manuseio e sucessiva integração com a plataforma de concepção dos projetos.

Por outro lado, a definição do escopo da pesquisa foi conduzida por meio de uma análise criteriosa para a escolha dos projetos a serem trabalhados. O critério de escolha envolveu, com isso, a maior disponibilidade de dados e o nível de detalhamento das informações sobre o sistema construtivo escolhido, considerando a fase executiva da obra na etapa de simulações deste projeto, conforme supracitado.

Dessa forma, optar por elementos já concluídos ou com avanços físicos maiores, como estrutura e a disciplina de instalação, permite uma análise mais aprofundada devido à quantidade de informações documentadas, em comparação com sistemas em fase inicial de execução, como drywall da etapa de vedação arquitetônica, que podem apresentar lacunas de dados. Além disso, foi levado em conta o tempo disponível para a realização das análises e consolidação dos resultados, garantindo que os dados coletados sejam suficientes para a validação das abordagens aplicadas.

Além da utilização dos projetos, foram incorporadas as informações da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), desenvolvida internamente para o planejamento inicial da construção. A EAP serviu como base para a organização e segmentação das atividades, permitindo uma visão estruturada do escopo do projeto e sua relação com os elementos modelados no BIM 4D.

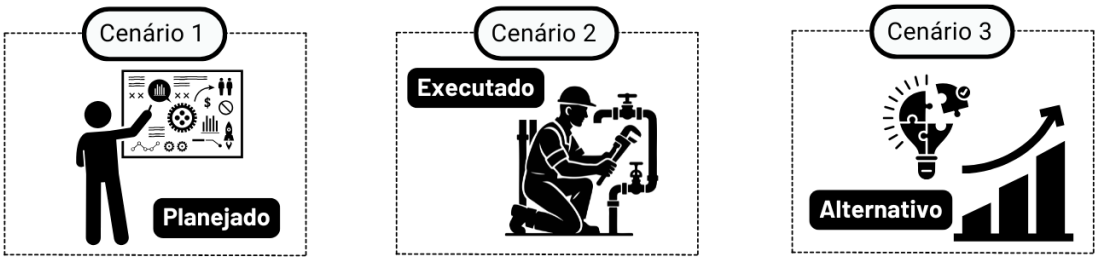
Outro fator determinante para a análise da modelagem BIM 4D foi o nível de desenvolvimento do projeto BIM (LOD). A precisão das análises depende diretamente do nível de detalhamento dos modelos digitais obtidos. Foi verificado se os projetos analisados foram originalmente concebidos em BIM ou se a modelagem fora realizada a partir de arquivos convencionais, caracterizando um processo de retroalimentação do modelo, o chamado "BIM forçado". Essa avaliação é essencial para definir o grau de confiabilidade das informações e os ajustes necessários para adequar o modelo ao propósito da pesquisa.

Outro conjunto de informações que foi coletado refere-se aos documentos auxiliares da obra, incluindo diários de obra, registros históricos, planos de execução e eventuais revisões do cronograma. Esses materiais possibilitam compreender a evolução do projeto ao longo do tempo, fornecendo uma visão detalhada sobre desafios enfrentados, interferências não previstas e ajustes necessários.

Contudo, diante do exposto, espera-se apresentar os cenários a serem analisados neste estudo. Os quais se dispõe do planejamento inicial e o executado, configurando-se os

cenários 1 e 2, cenários apresentados para a contextualização da realidade vivenciada na execução dos serviços de instalação de sprinklers. Em paralelo, foram utilizados os demais dados para elaboração do cenário 3, cenário simulado, usando a modelagem em BIM 4D, para atender e otimizar o prazo de execução. A Figura 12 apresenta a estrutura dos cenários de maneira resumida e consolidada.

Figura 12 - Relação dos cenários



. Fonte: acervo dos autores, 2025 .

As análises dos registros supracitados permite a identificação de padrões que impactam a eficiência da construção e serviu como suporte para a avaliação comparativa entre o planejamento original, o cenário real e o gerado em modelagem BIM 4D, correspondentes respectivamente aos cenários 1, 2 e 3.

Com relação à confiabilidade das informações obtidas, a pesquisa adotou estratégias para validação dos dados, garantindo que as análises estejam fundamentadas em evidências reais e precisas. Os projetos e documentos foram revisados junto à equipe técnica da obra para evitar inconsistências e assegurar que os dados estejam atualizados. Além disso, foram cruzadas informações entre diferentes fontes, como comparações entre o cronograma original e os registros diários, permitindo avaliar a confiabilidade dos dados utilizados no estudo.

A seleção dos dados foi conduzida com base na priorização de documentos que apresentem alto grau de detalhamento e impacto direto na análise da modelagem BIM 4D. Assim, foram escolhidos arquivos que disponibilizassem informações essenciais para a simulação dos cenários, tais como a sequência de atividades, materiais envolvidos e tempo estimado para cada etapa da construção. Dessa forma, foi possível garantir que o estudo se concentre em dados relevantes para avaliar a eficiência do BIM 4D na gestão dos serviços.

3.1.2. LEVANTAMENTO QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Dentro do escopo proposto, um dos pontos críticos identificados durante o estudo foi a necessidade de extrair o quantitativo de materiais referentes ao subsistema de sprinklers. O levantamento é determinante para compreender o dimensionamento real do empreendimento e estabelecer parâmetros confiáveis para a estimativa de mão de obra, recursos físicos e tempo de execução. Em modelos BIM, o quantitativo de materiais não apenas subsidia o planejamento e os custos, mas também permite estruturar análises de cenários, sequenciamento de atividades e previsões de desempenho executivo.

No entanto, ao analisar as documentações disponíveis, constatou-se a inexistência de um levantamento consolidado e específico dos quantitativos do subsistema de sprinklers. Diante dessa lacuna, tornou-se necessário aprofundar a análise das composições e reconstruir manualmente o banco de dados a partir dos modelos e projetos obtidos na etapa inicial. Esse trabalho envolve a compreensão minuciosa dos elementos modelados, a identificação das tipologias de componentes, o dimensionamento de trechos de rede e a categorização de peças e acessórios, de modo a garantir precisão nas informações geradas.

Nesta etapa de levantamento quantitativo de materiais, identificou-se os tipos e quantidades de conexões e acessórios do subsistema de sprinklers, bem como os comprimentos das tubulações, todos classificados por diâmetro. Os dados foram organizados em planilha Excel, separando-os por pavimento da torre, e posteriormente integrados ao banco de dados, possibilitando análises e estudos para elaboração do cronograma do cenário otimizado. Com essas informações quantificadas de forma consistente, tornou-se possível, de maneira sequencial:

- Relacionar materiais às atividades do cronograma;
- Parametrizar índices de produtividade;
- Estimar tempos e recursos com maior fidelidade;
- Simular cenários executivos no ambiente BIM;
- Validar decisões de engenharia com base em informações integradas.

Assim, essa etapa de levantamento e reconstrução de dados torna-se fundamental para consolidar a interoperabilidade entre os modelos de projeto e o planejamento executivo, contribuindo para a precisão, o detalhamento e a eficiência do gerenciamento da obra.

3.1.3. COMPOSIÇÃO UNITÁRIA DE SERVIÇO

A partir da consolidação do banco de dados quantitativo e, simultaneamente, da estruturação da Estrutura Analítica de Projeto (EAP), deu-se início à etapa de estudo das produtividades, etapa metodológica essencial para a determinação das datas programadas em consonância com a lógica de sequenciamento executivo. A construção desse elo entre escopo, quantitativo e tempo é coerente com os princípios do planejamento orientado por atividades, fundamentado na decomposição hierárquica do projeto e na estimativa da duração com base em parâmetros técnicos confiáveis.

Para subsidiar esse processo, realizou-se a extração de informações do Sistema de Composição de Custos (SINAPI), ferramenta amplamente reconhecida no setor da construção civil por fornecer índices de produtividade, coeficientes de consumo e referenciais normativos aplicáveis a diferentes tipologias de serviços. No caso específico do subsistema de sprinklers, essas composições oferecem parâmetros quantitativos relacionados ao ritmo de instalação, às necessidades de mão de obra, aos insumos empregados e à complexidade operacional associada aos serviços.

A utilização desses dados normatizados confere maior precisão e confiabilidade ao cálculo das durações, reduzindo a subjetividade inerente a estimativas empíricas ou não padronizadas. Apesar do SINAPI ser voltado principalmente para o viés de licitações e obras públicas, mostrou-se como uma base sólida para subsitdiar os coeficientes de produtividades necessários para o dimensionamento e de mão de obra adequado ao estudo de caso e execução do subsistema de sprinklers.

O procedimento metodológico seguiu três etapas principais:

i) Identificação e seleção das composições correspondentes ao subsistema de sprinklers, considerando tipologia do material, diâmetros, conexões e complexidade de instalação;

ii) Extração dos coeficientes de produtividade, definidos como capacidade de execução por unidade de tempo, os quais foram posteriormente confrontados com o banco de dados quantitativo construído na etapa anterior;

iii) Associação dos índices de produtividade às atividades da EAP, possibilitando calcular as durações de cada pacote de trabalho e viabilizando o sequenciamento temporal das atividades no planejamento;

iv) elaboração do cronograma embasado nos prazos iniciais e fundamentado no resultado do estudo.

Dentro da vertente da EAP de cada pavimento, tem-se um detalhamento até o nível 4, o que permitiu organizar os serviços dentro dessa estrutura analítica. Para cada serviço, foi vinculado o quantitativo de material. Ainda no mesmo arquivo excel, os serviços da EAP foram associados com o coeficiente de produtividade correspondente à respectiva composição unitária de serviço, conforme apresentado e exemplificado pela equação 3.1:

$$H_{SN} = QM_{SN} * P\,mo1_{SN} \quad \textbf{(3.1)}$$

Onde:

H_{SN} refere-se às horas calculadas de execução do serviço n;
QM_{SN} refere-se ao quantitativo de material para a execução do serviço n;
$P\,mo1_{SN}$ refere-se a produtividade da mão de obra 1 para a execução do serviço n.

A mão de obra necessária para cada serviço foi medida em horas. Assim, através da relação entre o quantitativo de material e o coeficiente de produtividade da mão de obra para cada serviço, obteve-se a quantidade de horas necessárias para a realização deles.

Para os cálculos de produtividade e da mão de obra estimada para a execução dos serviços em X dias, considerou-se que um dia de trabalho corresponde a 8 horas, obtendo-se a relação de dias necessários para a realização de cada um dos serviços presentes na EAP detalhada, conforme apresentado na equação 3.2.

$$D_{SN} = H_{SN} \,/\, 8\,horas \quad \textbf{(3.2)}$$

Onde:

D_{SN} refere-se aos dias calculados de execução do serviço n;
H_{SN} refere-se às horas calculadas de execução do serviço n.

Assim, a etapa do estudo de produtividades constitui um componente essencial da metodologia adotada, pois fornece as bases quantitativas e temporais que sustentam o desenvolvimento das análises subsequentes, permitindo o manuseio de informações operacionais de prazos e quantitativo de mão de obra, adequadas para a construção do cronograma físico e da simulação 4D, propondo-se um cenário alternativo otimizado.

3.2. INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração de dados é uma etapa fundamental para viabilizar a modelagem BIM 4D e permitir a verificação e simulação de cenários alternativos otimizados. Essa etapa envolveu a vinculação dos modelos tridimensionais aos cronogramas da obra, garantindo uma representação dinâmica e detalhada do processo construtivo

Os arquivos foram preparados para serem convertidos no formato IFC e integrados ao *software* que possibilita a simulação das etapas construtivas e a vinculação ao cronograma de execução. Para a realização deste estudo, foi selecionado o *software* Autodesk Navisworks, amplamente utilizado no setor da construção civil para coordenação, análise e simulação de modelos BIM.

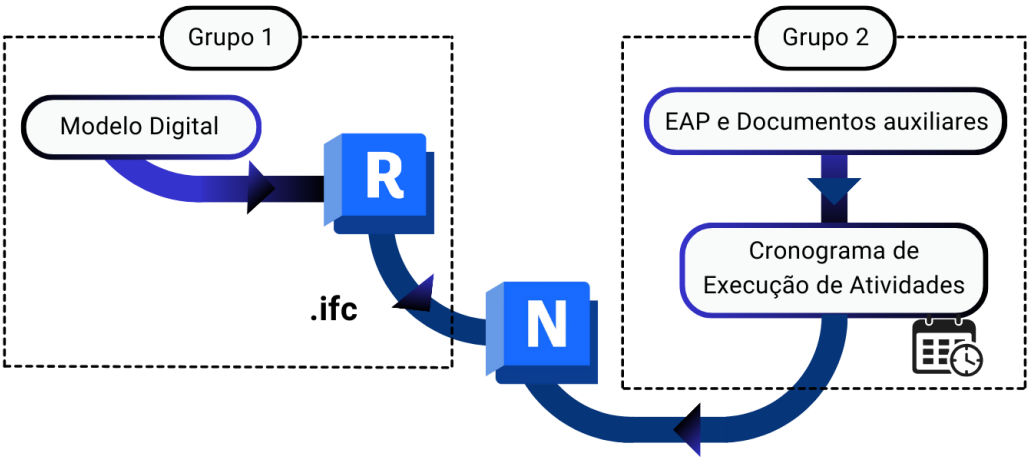
A escolha se justifica pela capacidade do *software* em integrar modelos tridimensionais de diferentes disciplinas, permitindo a vinculação direta ao cronograma da obra por meio da ferramenta *TimeLiner*. Um recurso que possibilita a simulação do avanço da construção em diferentes cenários e a comparação entre o planejado e executado, sendo um fator determinante para a avaliação da eficiência do planejamento em BIM 4D. Além do programa dispor da ferramenta *clash detection* que viabiliza o processo de verificação de incompatibilização entre as disciplinas integradas.

Outro aspecto relevante para a escolha do Navisworks foi a viabilidade de acesso à licença educacional, que facilita a aplicação do *software* no contexto acadêmico. A disponibilidade dessa licença para alunos e pesquisadores permite a realização de simulações e análises em tempo hábil, viabilizando a consolidação dos resultados desta pesquisa.

Diante do exposto, a etapa de integração consiste na compatibilização dos modelos tridimensionais desenvolvidos no Autodesk Revit com a plataforma de simulação Autodesk Navisworks, de forma a permitir a vinculação do projeto digital ao cronograma de execução da obra.

Neste intuito, os dados coletados e tratados, foram divididos em dois grupos de informação, conforme apresentado na Figura 13. O primeiro grupo composto pelo .ifc da modelagem digital, referente ao escopo delimitado da pesquisa. Já o segundo grupo é formado pelas informações temporais e o cronograma de execução das atividades, embasado na EAP, no estudo de quantitativos, produtividade e nos documentos auxiliares cabíveis.

Figura 13: Integração dos grupos de informação



. Fonte: Elaborada pelos autores, 2025 .

A integração dos dados foi conduzida de forma a representar a sequência da construção, garantindo que as fases do projeto fossem organizadas de maneira coerente e alinhada à execução física da obra. A correta segmentação dos elementos no ambiente digital possibilita a identificação de possíveis interferências espaciais e temporais, permitindo ajustes estratégicos.

3.2.1. APRESENTAÇÃO E SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

O cenário inicial será exportado a partir dos dados extraídos do cronograma de execução original da obra. Este cronograma representa a sequência de atividades planejada inicialmente pela equipe de projeto, permitindo a verificação dos prazos de entrega das etapas.

Em paralelo, no cenário 2, foi realizada uma análise das variações em relação ao cronograma original, extraídos dos registros de executivos da obra. A partir disso, é possível identificar eventuais problemas de aderência aos prazos e detectar as interferências que surgiram nas frentes de trabalho. A análise crítica do cenário inicial foi fundamental para entender como a obra evoluiu e qual o impacto dos fatores externos e internos no cumprimento dos prazos.

O cenário alternativo foi desenvolvido a partir de uma análise crítica do cronograma original e dos dados extraídos dos registros da obra, como o diário de obra e outros documentos da construtora. O objetivo foi identificar falhas no planejamento, como o mau gerenciamento

de recursos e a alocação inadequada de mão de obra, e propor ajustes para otimizar o prazo de execução.

A partir das experiências de campo e das informações documentadas pelos executores, foram propostas estratégias para eliminar sobreposições problemáticas e otimizar as frentes de trabalho. A simulação do cenário alternativo foi realizada no Autodesk Navisworks, que, por meio da criação de uma animação 4D, permitiu visualizar o impacto das mudanças nas estratégias de planejamento e tomar decisões baseadas em dados concretos, visando melhorar o fluxo de trabalho e reduzir os atrasos.

Para tanto, tem-se à disposição dos cenários apresentados pela Tabela 1.

Tabela 1- Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados

Cenário	Contexto	Formato e Ferramenta
1	Planejado	Planilha Excel | Prevision
2	Real	Planilha Excel e Imagens | Prevision
3	Alternativo	BIM 4D | Navisworks

Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

A ferramenta Prevision é utilizada para o manuseio e extração das informações relacionadas aos cenários de planejamento e execução da obra. No cenário "Planejado", os dados são extraídos e organizados em planilhas Excel, enquanto no cenário "Real", além das planilhas, são incorporadas imagens para uma visualização mais detalhada da cronologia e planejamento de execução da obra.

A integração dos modelos 3D e cronograma permite uma análise comparativa entre os cenários planejado, real e alternativo, fornecendo uma visão detalhada sobre os benefícios e desafios da aplicação do BIM 4D no gerenciamento da construção. A comparação entre os cenários permitiu também entender as causas subjacentes que levaram a defasagens no cronograma original, identificando os pontos de otimização que poderiam ser aplicados em projetos futuros.

3.3. ANÁLISE DE IMPACTOS E POTENCIALIDADES DA MODELAGEM BIM 4D

Nesta etapa, foi realizada uma análise para avaliar os impactos do BIM 4D na eficiência do planejamento, gestão de tempo e coordenação das atividades da obra. A comparação entre os cenários planejado, real e alternativo permitiu identificar melhorias na previsibilidade das atividades, alocação de recursos e mitigação de riscos operacionais. O cenário alternativo, gerado a partir da integração dos modelos 3D com o cronograma, propôs ajustes para otimizar prazos, com base na produtividade e na organização das frentes de trabalho.

A análise focou na identificação de gargalos operacionais, inconsistências no cronograma original e a avaliação das discrepâncias entre a programação e a execução. A plataforma Navisworks foi crucial para detectar interferências espaciais entre disciplinas, potencialmente invisíveis em planejamentos tradicionais. Além disso, a análise investigou a eficiência do fluxo de trabalho, verificando se a vinculação entre os modelos 3D e 4D proporcionou uma execução mais coordenada, reduzindo desperdícios de recursos.

A modelagem BIM 4D também foi avaliada quanto à melhoria da comunicação e tomada de decisão, facilitando a compreensão do cronograma por todos os envolvidos e potencializando a colaboração entre gestores, engenheiros e operários. Por fim, a análise de confrontos destacou os desafios técnicos na implementação do BIM 4D, apontando soluções para superar barreiras e ampliar sua adoção no setor da construção.

Por fim, a análise de confrontos levará em consideração os desafios e dificuldades técnicas enfrentadas na implementação do BIM 4D. Essa avaliação permitirá compreender as barreiras para a adoção dessa tecnologia em larga escala e apontar possíveis soluções para facilitar sua implementação no setor da construção.

3.4. ELABORAÇÃO DE FLUXOGRAMA PARA IMPLEMENTAÇÃO DA FERRAMENTA BIM 4D

Como resultado final dos estudos realizados, foi elaborado, como etapa de consolidação, um fluxograma orientativo para a implementação da ferramenta BIM 4D na vertente executiva da obra, levando em consideração os aspectos que contornam as problemáticas encontradas ao longo do presente trabalho. O objetivo desse fluxograma é sistematizar o processo de

aplicação da tecnologia, permitindo o pleno aproveitamento de seus recursos em termos de planejamento, controle da execução e integração entre modelos digitais e cronograma físico.

Essas orientações metodológicas de aplicação de um planejamento utilizando processos em BIM fornecem diretrizes claras sobre etapas e interações necessárias, garantindo maior eficiência na coordenação das atividades, na visualização do avanço físico da obra e na tomada de decisões estratégicas em tempo real. Ao mesmo tempo, o fluxograma atua como base estruturante para a análise de produtividade e o sequenciamento 4D, contribuindo diretamente para a avaliação do desempenho e planejamento detalhado das atividades.

Sua contribuição se dá por meio de três aspectos principais:

i. Organização e visualização das etapas executivas: o fluxograma estabelece uma sequência lógica das atividades, associando cada pacote de trabalho aos recursos necessários, tempos de execução e dependências entre tarefas. Essa organização permite identificar pontos críticos do cronograma e facilita o cálculo de produtividades reais a partir dos dados coletados em campo.
ii. Integração entre modelo BIM e cronograma: ao mapear a correspondência entre elementos modelados (geometria e quantitativos) e atividades do cronograma, o fluxograma garante que cada tarefa planejada esteja vinculada a um volume de trabalho específico. Essa associação é fundamental para gerar simulações 4D precisas, permitindo avaliar o avanço físico da obra e mensurar a produtividade de cada equipe de forma confiável.
iii. Base para análise comparativa e ajustes: a sistematização do fluxo de execução possibilita a comparação entre os Cenários 1 e 2 (planejado versus executado), a identificação de desvios de produtividade e a proposição de ajustes na sequência ou alocação de recursos. Essa abordagem fortalece o uso do BIM 4D como ferramenta de tomada de decisão, permitindo otimizações na programação e melhoria contínua da execução.

Dessa forma, o fluxograma não apenas orienta a implementação do BIM 4D, mas também constitui uma referência confiável e estruturada para apoiar a análise de produtividade e o sequenciamento 4D, consolidando os ganhos tecnológicos proporcionados pela metodologia, de maneira orientativa para casos reais que não há efetiva gestão BIM.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O presente capítulo estrutura a exploração dos resultados obtidos desde a etapa da coleta de dados até a consolidação da modelagem em BIM 4D, a integração com o cronograma até as análises geradas no ambiente de coordenação. Este estudo evidencia o potencial da metodologia para reduzir incertezas, otimizar processos e oferecer maior previsibilidade à execução de sistemas incorporados às obras prediais, destacando seus impactos diretos no cumprimento de prazos e na mitigação de problemas recorrentes no canteiro.

4.1. ESTUDO DE CASO

Em virtude das dificuldades de implementação da ferramenta BIM 4D dentro das vertentes gerenciais de obras, tem-se nesta primeira etapa do processo a escolha da obra para o estudo de caso, em que o critério foi dado em função da ausência da aplicação da metodologia BIM 4D em seus processos, isto é, desde a fase de planejamento até a execução. Assim, essa escolha permitiu uma análise comparativa entre o método tradicional de controle e gerenciamento da obra e os potenciais benefícios que podem ser obtidos com a implementação do BIM 4D.

Além do critério destacado, também foi considerada a facilidade de acesso tanto ao contato com os responsáveis pela obra quanto às informações relevantes para a pesquisa. Esse aspecto é fundamental para garantir a obtenção de dados precisos e detalhados sobre o planejamento, execução e gerenciamento da construção, possibilitando uma análise mais completa e embasada dos impactos da ausência do BIM 4D nos processos da obra.

Diante do exposto, o objeto de estudo deste trabalho é uma obra localizada no setor Noroeste, na cidade de Brasília – DF. Este trata-se de um empreendimento privado, desenvolvido através de uma parceria estabelecida entre as empresas do setor incorporativo, com a participação de diferentes projetistas especializados responsáveis pela concepção das disciplinas integrantes.

Para o presente estudo, selecionou-se uma obra que está destinada ao uso residencial, composta por sete pavimentos. Sua configuração arquitetônica e funcional foi concebida de modo a proporcionar maior flexibilidade e versatilidade, atendendo às demandas de moradia integrada a espaços de uso comum e permitindo a proposição de distintas soluções arquitetônicas no âmbito residencial.

Essa concepção do projeto reflete uma busca pela otimização do uso do solo e funcionalidade dos ambientes, com o objetivo de proporcionar uma experiência prática e agradável para os futuros usuários, ao mesmo tempo que se adapta às exigências contemporâneas do setor em fase de crescimento da cidade.

A projeção selecionada para este estudo foi a Junta C, composta por C1 e C2, que, quando integradas, totalizam uma área construída de aproximadamente 7.000,00 m². A torre é estruturada com um subsolo destinado a garagens, um térreo composto por salão de festa e apartamentos duplex que se integram com 1° pavimento, enquanto os pavimentos tipo (2° ao 5°) são constituídos por apartamentos residenciais e a cobertura é caracterizada por uma laje técnica.

A estrutura da torre, por sua vez, é composta por pilares que percorrem todos os níveis, úteis como base para a transferência de carga e sustentação da laje nervurada do térreo e as maciças dos demais pavimentos superiores.

4.1.1. ESCOLHA DA DISCIPLINA DE PROJETO

Durante o processo de escolha, considerando a ampla extensão da obra em estudo, optou-se por estruturar uma análise detalhada de um sistema executivo representativo do empreendimento. Para isso, aplicou-se um filtro criterioso nas disciplinas de projeto que compõem o escopo global da construção, priorizando aquelas que apresentavam maior impacto sobre o andamento físico da obra. Essa triagem baseou-se na identificação dos pontos críticos associados à defasagem do cronograma, contemplando tanto fatores inerentes ao planejamento inicial quanto interferências surgidas ao longo da execução.

A partir dessa filtragem, tornou-se possível concentrar esforços na disciplina que efetivamente influenciou no ritmo produtivo, permitindo uma avaliação mais precisa do comportamento do cronograma diante dos gargalos identificados.

Nesse contexto, concluída a etapa de escolha, deu-se início à compreensão aprofundada do processo executivo do sistema escolhido, visando mapear, de forma estruturada, as etapas que compõem seu ciclo de execução. Esse levantamento incluiu a análise da sequência construtiva, dos recursos necessários, das interdependências entre atividades, bem como das interfaces com outras disciplinas de projeto.

O entendimento detalhado dessas etapas permitiu estabelecer uma visão clara da lógica de execução, possibilitando identificar os pontos de maior sensibilidade ao atraso e compreender como eventuais desvios impactam o cronograma geral do empreendimento. Dessa forma, a análise do sistema executivo tornou-se uma ferramenta estratégica para embasar decisões de planejamento, reprogramação e mitigação de riscos ao longo da obra, servindo de ponto de partida para elaboração do processo otimizado.

4.2. BANCO DE DADOS

Como primeira etapa do processo, teve-se a escolha da obra destinada ao estudo de caso, na qual teve-se como objeto uma construção predial localizada no setor Noroeste da cidade de Brasília - DF. A obra é caracterizada pela ausência da aplicação da metodologia BIM 4D em seus processos internos, desde a fase de planejamento até as práticas de execução. Essa escolha permitiu a análise crítica da maturidade tecnológica da organização e a identificação de lacunas que podem ser supridas com a adoção progressiva do BIM 4D.

Após a escolha, no contato com os responsáveis e coleta de dados *in loco* para montagem do banco de dados, foram disponibilizados os projetos arquitetônico, estrutural e de instalações do sistema de incêndio, assim como documentos complementares relacionados ao planejamento executivo, tais como cronogramas em planilhas e arquivos em formato IFC para visualização tridimensional. Durante essa fase, registraram-se procedimentos, fluxos de comunicação, rotinas de instalação e diretrizes operacionais, permitindo a correlação entre a prática cotidiana e o que seria esperado em um ambiente gerenciado sob a lógica BIM.

Foi registrado no processo de pesquisa também que a empresa responsável pela gestão da obra adota um modelo operacional baseado na terceirização de serviços específicos, como instalações elétricas, hidráulicas, sistemas de combate a incêndio, vedação e acabamentos. Cada equipe terceirizada possui métodos particulares de controle, planejamento e execução, o que resulta em heterogeneidade de processos e, por consequência, maior dificuldade na consolidação de um planejamento integrado. A ausência de um ambiente comum de dados (CDE) agrava essa condição, uma vez que as trocas de informações ocorrem majoritariamente por meios tradicionais, como mensagens instantâneas, e-mails e documentos isolados.

Quanto às ferramentas utilizadas pela obra, identificou-se o emprego do software Prevision como plataforma principal para o planejamento e acompanhamento físico-financeiro. Além disso, o controle de medições e frentes de serviço é complementado por planilhas eletrônicas, enquanto a visualização dos projetos ocorre por meio de modelos IFC e representações 2D extraídas de ferramentas CAD. Apesar de permitir certo nível de organização, esse conjunto de ferramentas não proporciona integração plena entre planejamento, modelo e execução, reforçando o potencial de implantação de um fluxo BIM 4D mais estruturado e eficiente.

Outro ponto de defasagem diagnosticado foi a ausência de levantamentos extraídos diretamente do modelo 3D. Embora a obra dispusesse de arquivos tridimensionais em formato IFC para fins de visualização, tais modelos não eram utilizados como fonte de quantitativos ou como base para análises de compatibilização. Como consequência, houve a necessidade de realizar os levantamentos manualmente a partir dos projetos 2D, processo que demanda maior tempo, aumenta o risco de inconsistências e distancia o empreendimento das vantagens inerentes a um fluxo de trabalho integrado em BIM, tais como extração automática de quantidades, atualização dinâmica e redução de duplicidade de informações.

Contudo, o banco de dados utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi constituído a partir dos arquivos disponibilizados, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados

Item	Documento	Formato
1	Projeto estrutural	2D e 3D
2	Projeto arquitetônico	2D e 3D
3	Projeto do subsistema de sprinklers	2D e 3D
4	Cronograma Planejado	Planilha do Microsoft Excel (.xlsx)
5	Cronograma real	Planilha do Microsoft Excel (.xlsx)
6	Cronograma real	Linha de balanço
7	EAP	Planilha do Microsoft Excel (.xlsx)
8	Histórico e registros da obra	Documento (.docx)

Fonte: autores, 2025.

Esses documentos serviram como base para as análises, modelagens e interpretações realizadas ao longo do processo, ainda que apresentassem limitações decorrentes das ausências previamente mencionadas.

No entanto, neste desenvolvimento observou-se, como mencionado, a ausência de informações relevantes como o quantitativo de materiais, além da inexistência de registros ou memoriais detalhando parâmetros de instalação, quantidades efetivas ou produtividades utilizadas em obra.

A partir das análises, foi possível entender quais materiais estão atrelados a cada fase do serviço, assim foi levantada as informações quantitativas de materiais no projeto para entender a grandeza dimensional do processo executivo e para fins de dimensionamento de mão de obra. Entretanto, em virtude da defasagem encontrada no âmbito dos projetos em BIM, não foi possível extrair informações diretas dos quantitativos de materiais. Consequentemente, tornou-se necessário efetuar os levantamentos manualmente, utilizando os projetos bidimensionais como referência, sendo obtida a relação presente na Tabela 3.

Tabela 3 - Levantamento de quantitativo de materiais por pavimento

INFORMAÇÕES DOS INSUMOS		PAVIMENTOS						
Descrição	Unidade	TÉRREO	1º PAV	2º PAV	3º PAV	4º PAV	5º PAV	COBERTURA
TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 1", E = 3,38 MM, PESO 2,50 KG/M (NBR 5580)	M	133,53	163,93	127,21	127,21	127,21	127,21	1,89
TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 1.1/4", E = *3,25* MM, PESO *3,14* KG/M (NBR 5580)	M	74,77	89	36,55	36,55	36,55	36,55	-
TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 1.1/2", E = *3,25* MM, PESO *3,61* KG/M (NBR 5580)	M	38,05	8,7	94,26	94,26	94,26	94,26	-
TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 2", E = *3,65* MM, PESO *5,10* KG/M (NBR 5580)	M	34,71	3,06	-	-	-	-	1,15
TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 2.1/2", E = *3,65* MM, PESO *6,51* KG/M (NBR 5580)	M	6,12	3,06	6,12	6,12	6,12	6,12	13,67
COTOVELO 90 GRAUS DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1"	UN	56	44	78	78	78	78	-
COTOVELO 90 GRAUS DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/4"	UN	5	39	-	-	-	-	-
COTOVELO 90 GRAUS DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/2"	UN	-	1	-	-	-	-	-
COTOVELO 90 GRAUS DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 2 1/2"	UN	5	4	-	-	-	-	6
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1"	UN	20	41	17	17	17	17	1

INFORMAÇÕES DOS INSUMOS		PAVIMENTOS						
Descrição	Unidade	TÉRREO	1º PAV	2º PAV	3º PAV	4º PAV	5º PAV	COBERTURA
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1 1/4"	UN	44	17	15	15	15	15	-
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1 1/2"	UN	13	2	12	12	12	12	3
LUVA DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/4"	UN	-	17	-	-	-	-	-
LUVA DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 2 1/2"	UN	-	1	2	2	2	2	-
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1"	UN	6	2	-	-	-	-	-
SPRINKLER TIPO PENDENTE, BULBO VERMELHO RESPOSTA RAPIDA, 68 GRAUS CELSIUS, ACABAMENTO NATURAL, D = 15 MM (1/2")	UN	84	70	88	88	88	88	-
LUVA DE REDUCAO DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/2" X 1 1/4"	UN	2	-	14	14	14	14	-
NIPLE DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1"	UN	-	-	16	16	16	16	-
NIPLE DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/4"	UN	-	-	8	8	8	8	-
NIPLE DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 1 1/2"	UN	-	-	7	7	7	7	-
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1 1/2"	UN	-	-	3	3	3	3	-

INFORMAÇÕES DOS INSUMOS		PAVIMENTOS						
Descrição	Unidade	TÉRREO	1º PAV	2º PAV	3º PAV	4º PAV	5º PAV	COBERTURA
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1 1/4"	UN	2	-	13	13	13	13	-
CAIXA DE INCENDIO/ABRIGO PARA MANGUEIRA, DE EMBUTIR/INTERNA, COM 90 X 60 X 17 CM, EM CHAPA DE ACO, PORTA COM VENTILACAO, VISOR COM A INSCRICAO "INCENDIO", SUPORTE/CESTA INTERNA PARA A MANGUEIRA, PINTURA ELETROSTATICA VERMELHA	UN	4	-	2	2	2	2	-
COTOVELO 90 GRAUS DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 2"	UN	13	-	-	-	-	-	-
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 2"	UN	14	-	-	-	-	-	1
TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 2 1/2"	UN	1	-	-	-	-	-	-
LUVA DE REDUCAO DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 2" X 1 1/4"	UN	1	-	-	-	-	-	-
LUVA DE FERRO GALVANIZADO, COM ROSCA BSP, DE 2"	UN	5	-	-	-	-	-	-
BOMBA (TIPO: CENTRÍFUGA MONOESTÁGIO|POLOS: TRIFÁSICO|POTÊNCIA: 5CV|ALTURA MANOMÉTRICA*: [34-46]MCA|VAZÃO*: [24,8-6,6]M3/H)*VALORES REFERENCIAIS APROXIMADOS	UN	-	-	-	-	-	-	1
REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 1"	UN	-	-	-	-	-	-	1

INFORMAÇÕES DOS INSUMOS		PAVIMENTOS						
Descrição	Unidade	TÉRREO	1º PAV	2º PAV	3º PAV	4º PAV	5º PAV	COBERTURA
REGISTRO GAVETA BRUTO EM LATAO FORJADO, BITOLA 2 1/2"	UN	-	-	-	-	-	-	4
CHAVE DE FLUXO 1"	UN	-	-	-	-	-	-	1
REGISTRO OU VALVULA GLOBO ANGULAR EM LATAO, PARA HIDRANTES EM INSTALACAO PREDIAL DE INCENDIO, 45 GRAUS, DIAMETRO DE 2 1/2", COM VOLANTE, CLASSE DE PRESSAO DE ATE 200 PSI	UN	-	-	-	-	-	-	1
REGISTRO DE PRESSAO PVC, ROSCAVEL, VOLANTE SIMPLES, DE 1/2"	UN	-	-	-	-	-	-	1
VÁLVULA DE SEGURANÇA, COM ROSCA, DE 2"	UN	-	-	-	-	-	-	1
MANOMETRO COM CAIXA EM ACO PINTADO, ESCALA *10* KGF/CM2 (*10* BAR), DIAMETRO NOMINAL DE *63* MM, CONEXAO DE 1/4"	UN	-	-	-	-	-	-	1

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Dentro do processo atrelado à Estrutura Analítica de Projeto (EAP), tem-se essa ferramenta como fundamental no gerenciamento de obras, pois permite a organização do projeto em subdivisões hierárquicas, facilitando o controle e o planejamento das atividades. A EAP divide o projeto em pacotes de trabalho menores, garantindo uma melhor distribuição de responsabilidades, alocação de recursos e monitoramento das etapas de execução. No contexto de um Plano de Execução de Obra (PEO), a EAP facilita o planejamento detalhado, pois possibilita a visualização de cada fase da obra e a gestão eficiente dos prazos, custos e qualidade.

No gerenciamento de obras do projeto em estudo, a EAP é organizada de forma estruturada e hierárquica, com três níveis de detalhamento, conforme apresentado na tabela 4. O primeiro nível abrange as grandes etapas do processo, como projetos e consultorias técnicas, segurança do canteiro e administração da obra. No segundo nível, as subdivisões mais específicas, como as instalações hidráulicas e instalações de combate a incêndio, tornam-se mais visíveis. Abaixo dessas subdivisões, no terceiro nível, encontram-se os detalhes de execução específicos, como o sistema de Sprinkler, que é uma parte essencial do sistema de combate a incêndio.

A gestão da obra em estudo, portanto, se organiza de forma que o subsistema de sprinklers está inserido no pacote de Instalações de Combate a Incêndio, especificamente no código 14.02.05, conforme evidenciado na EAP. Esta organização permite uma gestão mais detalhada e focada nas etapas de implementação do sistema de combate a incêndio, garantindo que todos os requisitos sejam atendidos de forma eficiente e dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos. A seguir, apresenta-se um recorte da EAP, destacando o local onde o subsistema de sprinklers se encontra dentro da estrutura do projeto, como ilustrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Representação da EAP e hierarquia dos serviços

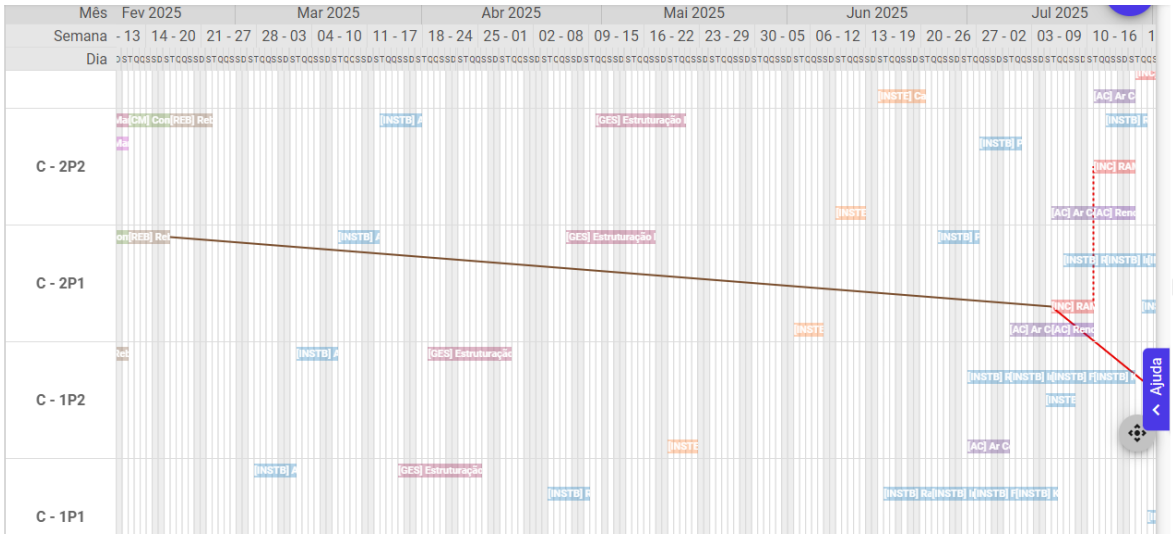
Nível	Código	Descrição
1	1	Projetos e Consultorias Tecnicas
1	2	Preliminares
1	3	Consumos Gerais
1	4	Segurança do Canteiro
1	5	Administração da Obra
1	6	Escavação
1	7	Contenção
1	8	Fundação
1	9	Blocos e Cintas
1	10	Estrutura
1	11	Cobertura
1	12	Impermeabilizações/Tratamentos
1	13	Paredes e Vedações
1	14	Instalações
2	14.01	Instalações Hidráulicas
2	14.02	Instalações Combate a Incêndio
3	14.02.01	Hidrante
3	14.02.02	Extintores
3	14.02.03	Detecção e alarme de incêndio
3	14.02.04	Proteção da tubulação nos shafts
3	**14.02.05**	**Sprinkler**
3	**14.02.06**	**Prumadas de Instalações de Incêndio**
1	14.01.00	Elevadores

Fonte: Acervo da obra, 2025.

Para a visualização do processo executivo do objeto de estudo, analisou-se a Estrutura Analítica do Projeto (EAP), na qual o sequenciamento das atividades relacionadas ao subsistema de sprinklers ocorre após a conclusão da estrutura e da alvenaria externa com reboco finalizado, conforme disposto pelo caminho crítico da Figura 14. Entretanto, para os fins deste trabalho, adotou-se uma avaliação isolada do sistema de incêndio, de modo a

permitir uma compreensão mais precisa de sua dinâmica e dos fatores que influenciaram sua execução.

Figura 14: EAP da obra



. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Na obra em questão, onde o estudo de caso foi desenvolvido, os serviços entre os pavimentos não podem ser realizados simultaneamente devido à dependência de um processo sequencial. A execução de uma tarefa depende do término e verificação da anterior, caracterizando uma relação do tipo "Término para Início". Por exemplo, o trabalho no primeiro pavimento só pode ser iniciado após a conclusão das instalações no térreo e o respectivo teste do sistema, que inclui o incremento de água para verificar vazamentos ou erros de execução. Somente após essa verificação, os trabalhos no primeiro pavimento podem ser iniciados, e o mesmo processo de teste será realizado para o segundo pavimento, e assim sucessivamente.

A partir da compreensão estrutural foram analisados os cenários de planejamento e elaborada a proposta otimizada.

4.3. CENÁRIO 1

O primeiro resultado obtido por meio da metodologia aplicada corresponde ao Cenário 1, construído a partir dos dados extraídos do cronograma original da obra. Esse cronograma, elaborado pela equipe gerencial, estabelece a sequência inicial das atividades e seus

respectivos prazos previstos, constituindo o referencial adotado para a comparação e análise dos desvios ocorridos durante a execução.

A exportação dessas informações permitiu organizar e estruturar o conjunto de atividades planejadas, possibilitando a compreensão clara do fluxo de execução proposto. Como resultado, o cenário 1 representa fielmente a programação inicial da obra, servindo como base comparativa para as etapas posteriores e para a identificação de eventuais divergências entre o previsto e o realizado.

O cenário programado foi elaborado na plataforma Prevision Sienge, um software de gestão e planejamento voltado à construção civil. A ferramenta permite estruturar e acompanhar projetos por meio do planejamento visual e da técnica de linha de balanço.

Entretanto, em razão do replanejamento contínuo desenvolvido ao longo das fases da obra, não foi possível extrair diretamente da plataforma as imagens com as visualizações em formato de linha de balanço. Dessa forma, foram disponibilizadas apenas as informações referentes às datas planejadas e às durações de cada lote, cuja nomenclatura segue o padrão adotado pela obra: a letra identifica a torre, a numeração indica o pavimento correspondente e as designações P1 e P2 referem-se às respectivas juntas. Por exemplo, C – 3P1 representa a torre C, no 3º pavimento, junta C1; enquanto C – 3P2 corresponde ao mesmo pavimento da torre C, porém na junta C2.

Assim, na Tabela 5 está apresentado o cronograma inicialmente planejado pela obra.

Tabela 5 - Relação de Documentos e Formatos no Banco de Dados

Lote	Data de início	Data de término	Duração (dias)
C - 0P1	8/10/2024	14/10/2024	5
C - 0P2	24/10/2024	30/10/2024	5
C - 1P1	31/10/2024	6/11/2024	5
C - 1P2	7/11/2024	13/11/2024	5
C - 2P1	14/11/2024	21/11/2024	5
C - 2P2	22/11/2024	28/11/2024	5
C - 3P1	29/11/2024	5/12/2024	5
C - 3P2	6/12/2024	12/12/2024	5
C - 4P1	13/12/2024	19/12/2024	5
C - 4P2	20/12/2024	9/1/2025	5
C - 5P1	10/1/2025	16/1/2025	5
C - 5P2	17/1/2025	23/1/2025	5
Barrilete	04/04/2025	10/04/2025	5

Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025.

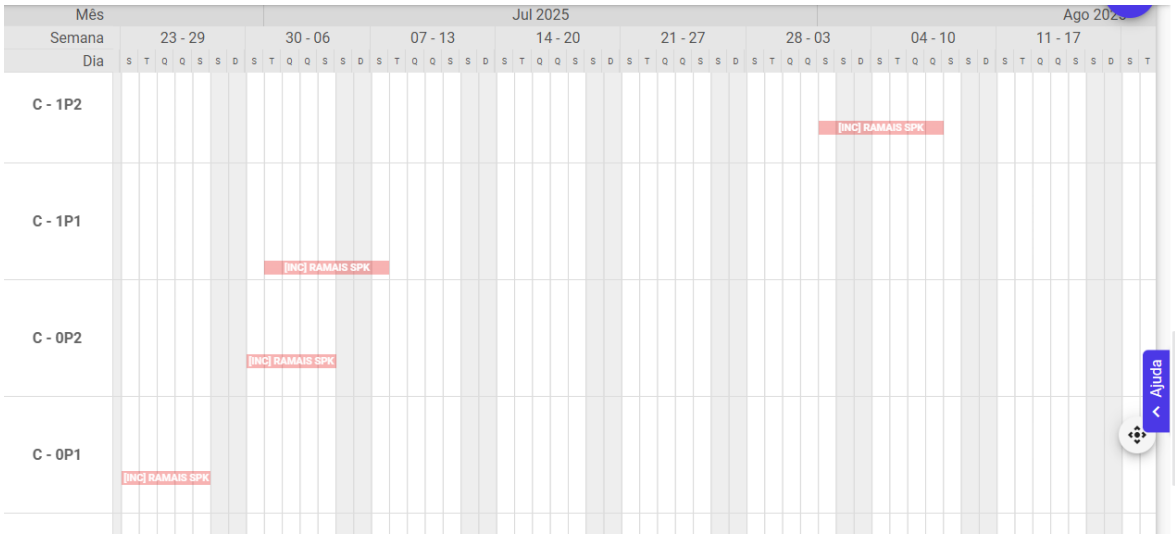
4.4. CENÁRIO 2

O Cenário 2, por sua vez, refere-se aos dados extraídos da execução real da obra. Esse conjunto de informações representa o andamento efetivo das atividades no canteiro, incluindo datas de início e término. A partir desses registros, foi possível identificar o comportamento real das frentes de serviço, bem como eventuais desvios em relação ao planejamento inicial, permitindo uma análise comparativa consistente entre o previsto e o executado.

O início efetivo das atividades de instalação do subsistema de sprinklers demonstrou uma defasagem inicial significativa em relação ao cronograma de execução da obra. Diante disso, obteve-se a visualização em linha de balanço do replanejamento das atividades, elaborada pelos gestores da obra e apresentada na plataforma Prevision. Essa representação está

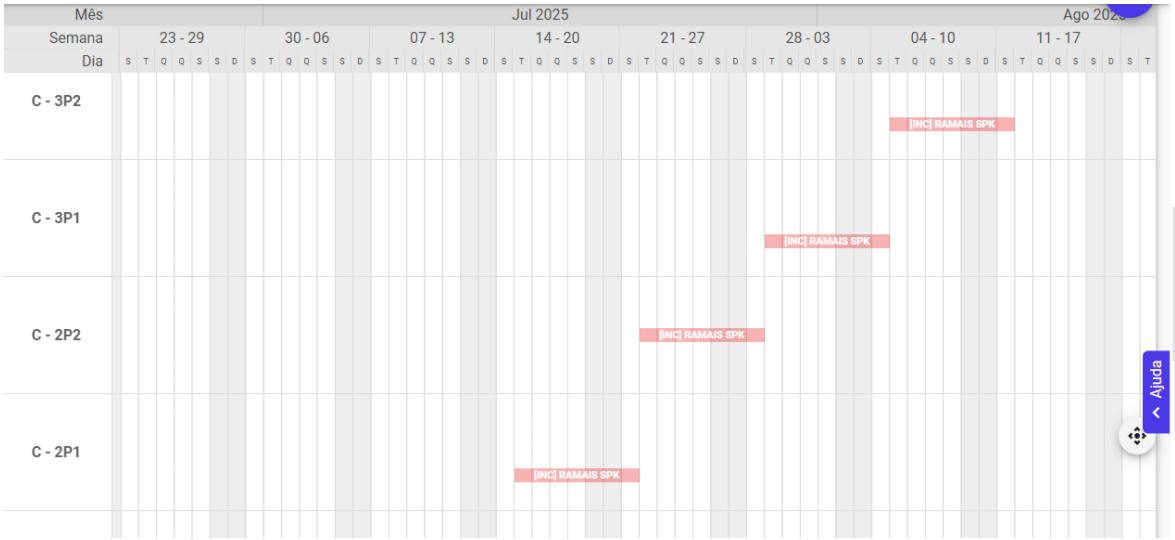
disposta nas figuras 15, 16, 17, 18 e 19, permitindo compreender o comportamento temporal das frentes de trabalho.

Figura 15: Cenário 2: cronograma replanejado (1/5)



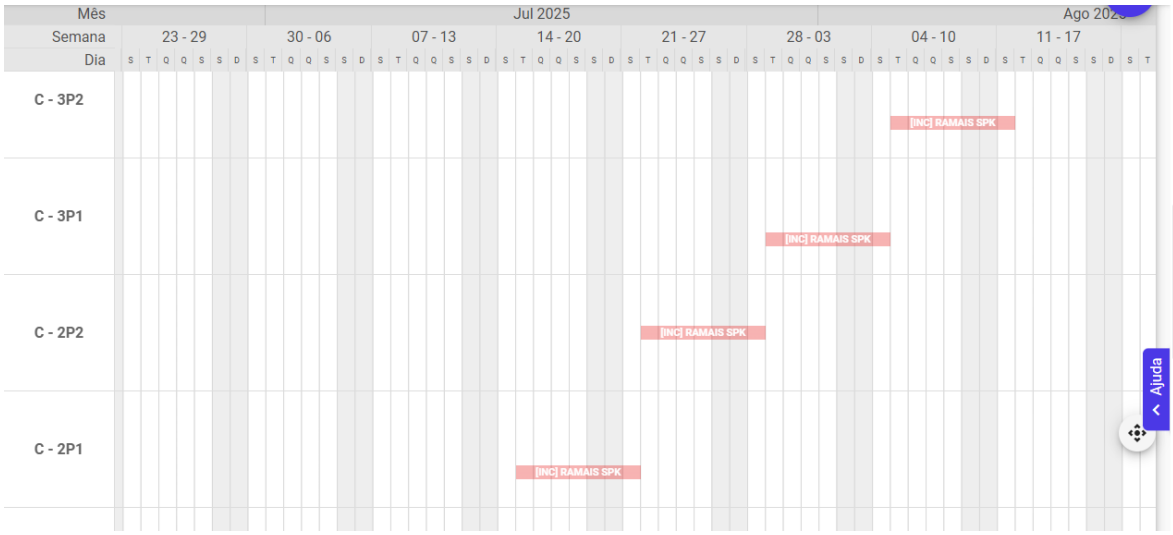
. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Figura 16: Cenário 2: cronograma replanejado (2/5)



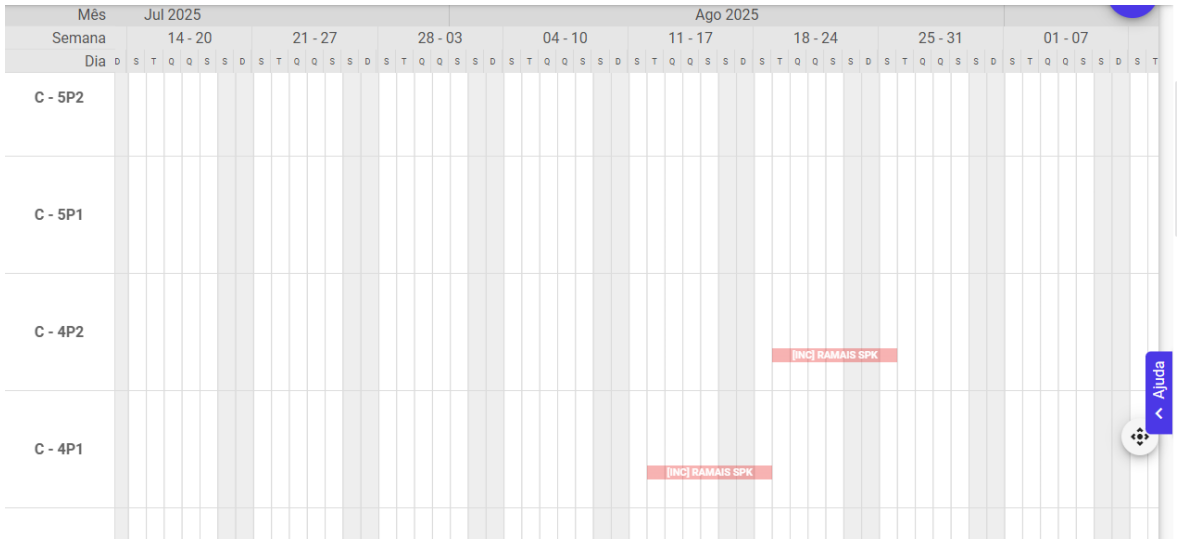
. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Figura 17: Cenário 2: cronograma replanejado (3/5)



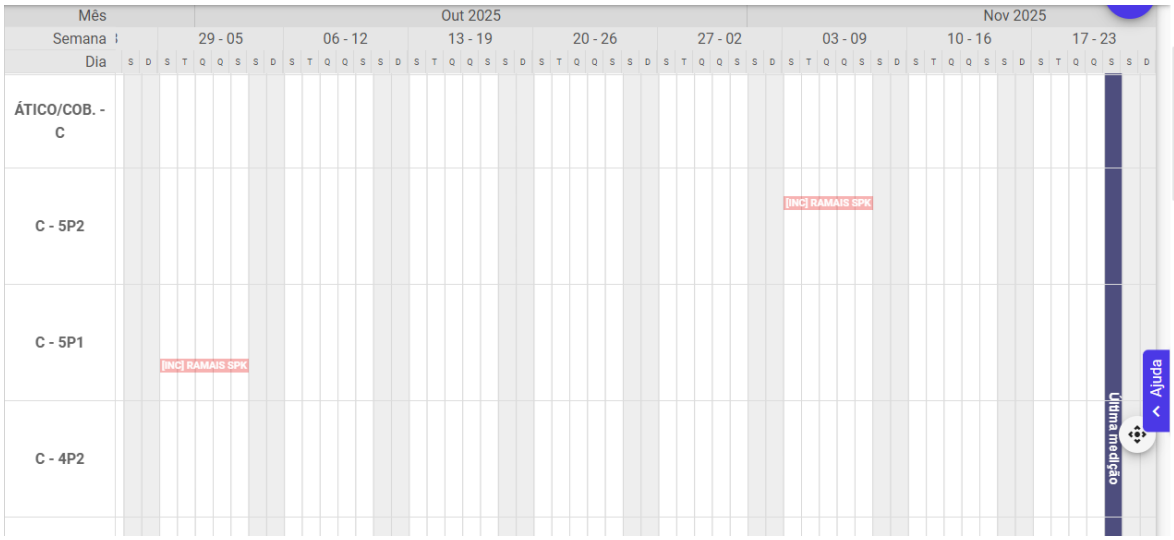
. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Figura 18: Cenário 2: cronograma replanejado (4/5)



. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Figura 19: Cenário 2: cronograma replanejado (5/5)



. Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025 .

Diante das informações coletadas, a Tabela 6 apresenta em síntese o cronograma de execução real da obra em virtude das interferências construtivas.

Tabela 6 - Cenário 2 (cronograma de execução)

Lote	Data de início	Data de término	Duração (dias)
C - 0P1	23/6/2025	27/6/2025	4
C - 0P2	30/6/2025	4/7/2025	4
C - 1P1	01/07/2025	07/07/2025	6
C - 1P2	1/8/2025	7/8/2025	6
C - 2P1	15/7/2025	21/7/2025	6
C - 2P2	22/7/2025	28/7/2025	6
C - 3P1	29/07/2025	04/08/2025	6
C - 3P2	5/8/2025	11/8/2025	6
C - 4P1	12/8/2025	18/8/2025	6
C - 4P2	19/08/2025	25/08/2025	6
C - 5P1	15/09/2025	19/09/2025	4
C - 5P2	22/09/2025	26/09/2025	4
Barrilete	04/08/2025	-	-

Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025.

Conforme evidenciado na Tabela 7, a data real de início divergiu substancialmente da data prevista, indicando um desvio sequencial. Não obstante, para a elaboração do Cenário 2 e a subsequente realização das análises comparativas de desempenho, a investigação e a coleta de dados se restringiram exclusivamente aos atrasos ocorridos dentro da gestão e do escopo de execução dos serviços do próprio sistema de incêndio.

A Tabela 7 apresenta o detalhamento do desvio de planejamento temporal que caracterizou o início dessa frente de serviço.

Tabela 7 - Desvio Temporal Inicial no Cronograma de Instalação do subsistema de sprinklers

Data prevista de Início	Data real de Início	Defasagem (dias)
08/10/2024	23/06/2025	258

Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025.

Com isso, frente ao cenário encontrado, na etapa de coleta de dados, foram identificadas as inconsistências supracitadas, dadas entre o cronograma planejado e o efetivamente executado. Em processo de visita a obra, realizado em outubro de 2025, do referido estudo de caso, foram verificadas que ainda haviam atividades do subsistema de sprinklers em andamento, atividades estas, que de acordo com o cronograma planejado e apresentado no cenário 1, já deveriam ter sido concluídas desde de abril de 2025. Diante desse cenário, foram realizadas entrevistas e questionamentos direcionados à equipe de obra, a fim de compreender as interferências construtivas que contribuíram para os atrasos observados.

Como resultado dessa apuração, os executores apontaram quatro fatores principais responsáveis pela discrepância entre planejamento e execução:

i) Baixa disponibilidade da mão de obra;
ii) Improdutividade da equipe disponível;
iii) Atrasos no fornecimento de materiais;
iv) Incompatibilidades entre os projetos.

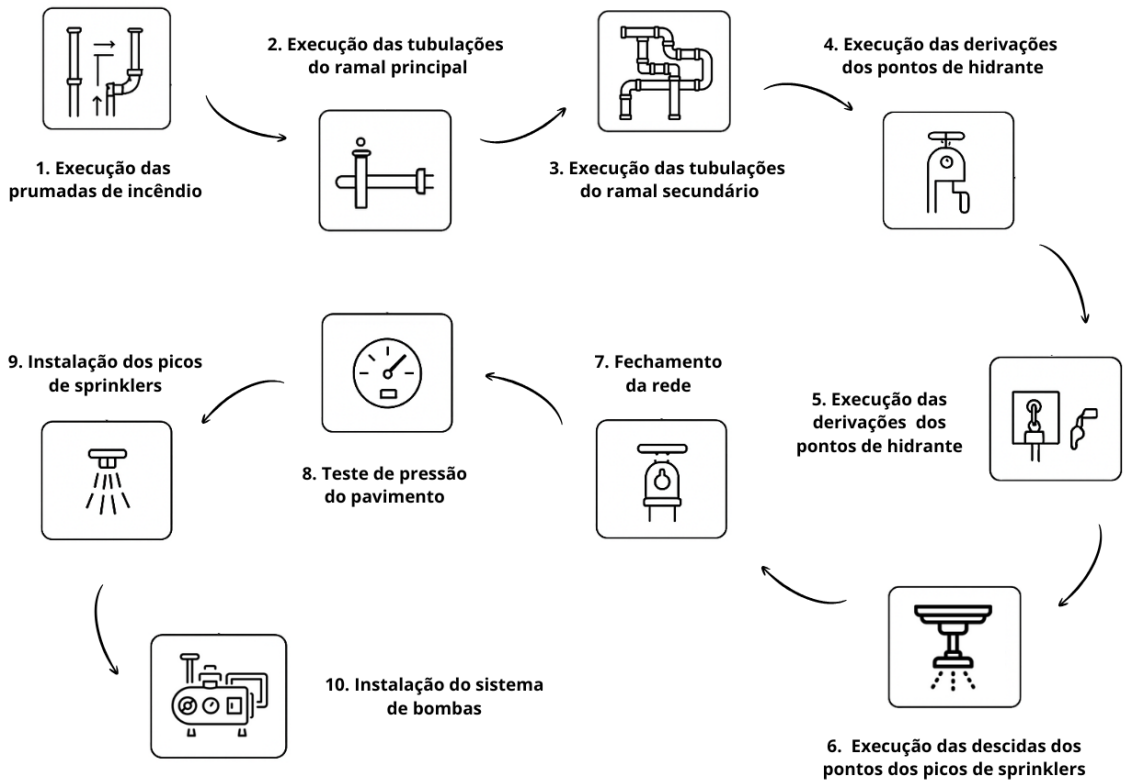
Além dos fatores identificados, a apuração também evidenciou a ausência de um mecanismo eficaz de monitoramento e controle do cronograma ao longo da execução. Observou-se que, embora o planejamento inicial estivesse formalizado, não houve uma atualização sistemática dos prazos nem a reavaliação periódica das frentes de serviço diante das mudanças ocorridas

em campo. Essa falta de retroalimentação entre o planejamento e a produção contribuiu para que os desvios se acumulassem sem que ações corretivas fossem implementadas de forma tempestiva.

4.5. CENÁRIO 3

O processo de elaboração do terceiro cenário teve início na fase de estudo dos processos BIM, em conjunto com a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e com a análise do processo executivo associado ao sistema selecionado, o de sprinklers. A partir dessa integração metodológica, foi possível estabelecer uma sequência lógica e otimizada das etapas necessárias para a execução do sistema, conforme apresentado no apêndice I deste trabalho e representada esquematicamente na Figura 20.

Figura 20: Sequência executiva do subsistema de sprinklers



. *Fonte: Acervo dos autores, 2025 .*

A definição dessa ordem sequencial permitiu identificar as interdependências entre atividades, os pontos críticos do processo e os requisitos prévios para cada etapa, garantindo

maior assertividade na simulação do cenário e na análise de sua compatibilidade com o planejamento proposto.

Para as análises de produtividade, mão de obra e otimização proposta para o cenário 3, referente ao gerenciamento e execução da obra, foi criado um nível adicional de detalhamento na EAP, mantendo a hierarquia e estrutura adotada pela empresa construtora e gestora do nosso estudo de caso. Esse nível extra de detalhamento permite um acompanhamento mais preciso das atividades relacionadas ao subsistema de sprinklers, considerando as especificidades e etapas de execução de cada componente.

Com a inclusão deste nível, foi possível aprofundar a análise das tarefas e recursos necessários para a implantação do subsistema de sprinklers, facilitando o controle sobre o desempenho da equipe e a alocação eficiente de recursos. Assim, para as instalações do subsistema de sprinklers, a EAP foi adaptada da forma disposta no detalhamento da Tabela 8.

Tabela 8 - Serviços de Instalação do sistema SPK na EAP

Nível	Código	Descrição
1	14	Instalações
3	14.02.05	Sprinkler
4	14. 02. 05. 01	Instalação de Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 02	Instalação de Joelhos 90º para Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 03	Instalação de TÊ para Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 04	Instalação de Luvas de Redução para Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 05	Instalação de Luvas para Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 06	Instalação de Cruzeta para Tubos de Aço (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 07	Instalação de Sprinkler (conexão rosqueada)
4	14. 02. 05. 08	Instalação de Caixa de Incêndio
4	14. 02. 05. 09	Instalação de Barrilete

Fonte: Adaptado acervo da obra, 2025.

Sequencialmente, a partir da EAP, realizou-se o estudo acerca da composição de unitária atrelada ao sistema executivo de sprinklers. Para o estudo da produtividade associada à execução do serviço, utilizou-se o sistema de referência Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI), correspondente ao estado do Distrito Federal, adotando abril de 2025 como mês-base, levando em consideração a localidade de execução da obra objeto deste estudo de caso. Além disso, foram consultadas outras bases de referência que pudessem complementar os serviços não contemplados pelo SINAPI no processo de execução do sistema de incêndio, projetado para a junta C desta obra.

Nesse sentido, foi consultado o Caderno Técnico de composições de custo: Instalações de Gás e Incêndio em Aço e Ferro Galvanizado do SINAPI, aferido em outubro de 2020. Nesse caderno, a Caixa Econômica Federal (Caixa) estruturou um conjunto de composições de custos voltado especificamente para instalações de gás e sistemas de combate a incêndio que utilizam ferro galvanizado, este que é o material aplicado no estudo de caso.

Entre os itens cujas composições foram aferidas no referido caderno técnico e aplicadas ao estudo de produtividade de mão de obra para a elaboração do cenário 3, destacam-se: tubos e conexões para prumadas e redes de alimentação de hidrantes e sprinklers, além de componentes de monitoramento e proteção, como manômetros, caixas e abrigos para hidrantes.

O processo de aferição e validação técnica aplicado pelo SINAPI para este grupo de composições foi conduzido por meio da análise de dados extraídos de obras reais, abrangendo empreendimentos comerciais e residenciais. A distribuição geográfica dos dados coletados confere robustez e representatividade nacional aos resultados. A criação e validação metodológica dessas composições foram possibilitadas pela contratação da Fundação para Desenvolvimento Tecnológico de Engenharia (FDTE), instituição responsável pela aferição.

Além das composições presentes no Caderno Técnico do SINAPI, foi possível consultar e obter dados adicionais por meio do sistema GCPO da Caesb. Este sistema é utilizado para gerenciar informações relacionadas a custos e preços em licitações e contratos da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, permitindo maior celeridade na coleta e processamento de dados.

O sistema GCPO é composto pelo Banco Geral de Custos Unitários (BGCU), que contém tabelas com e sem desoneração, conforme as definições da empresa, e está publicamente acessível em plataformas virtuais. O BGCU contempla tabelas que seguem as determinações da Lei nº 12.546/2011, com a .redação dada pela Lei nº 12.844/2013, e suas alterações pelas Leis 13.161, de 31 de agosto de 2015, e 14.288, de 31 de dezembro de 2021.

Contudo, para duas composições de serviços do barrilete na cobertura da Junta C, necessárias para a execução das instalações do subsistema de sprinklers e não contempladas pelo SINAPI, foram realizadas as seguintes consultas:

- Bomba centrífuga trifásica de 5 CV, incluindo fornecimento e instalação;
- Chave de fluxo de 1".

Foi efetuada uma busca por meio da ferramenta online TCPO WEB, a fim de verificar em outras tabelas de referência nacional composições que se assemelham aos itens citados, com o objetivo de obter os coeficientes de produtividade da mão de obra relacionados a esses serviços. Foram encontrados os dados nas tabelas da SICOR-MG (2025) e da AGETOP ROD (GOINFRA, 2020).

A partir do levantamento de materiais a serem empregados na execução da obra, observou-se a necessidade de analisar, também, no estudo de produtividade da mão de obra, as composições de cruzetas com conexões rosqueáveis para os diâmetros de 1”, 1.1/4" e 1.1/2" e que não foram encontrados no supracitado caderno técnico do SINAPI.

Essas cruzetas são conexões roscadas em formato de cruz, utilizadas para criar ramificações em quatro direções em tubulações (ramificações de 90° em uma rede de tubulação). No entanto, no caderno técnico do SINAPI não foram contempladas composições para o fornecimento e a instalação deste tipo de item. Dessa forma, adaptou-se às composições do SINAPI referentes a tê em ferro galvanizado com conexões rosqueadas, para se obter parâmetros estimados da produtividade da mão de obra atuante em uma composição de cruzeta em ferro galvanizado com conexão rosqueada, conforme exposto e exemplificado nas Tabelas 9,10 e 11, para tês e cruzetas de 1”.

Tabela 9 - Composição de custos unitárias de tê em ferro galvanizado

92681 | TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020 | UN							
Código SINAPI	**Descrição**	**Unid.**	**Coef.**	**Custo (desonerado)**	**Custo (Onerado)**	**Custo Parcial (desonerado)**	**Custo Parcial (Onerado)**
3148	FITA VEDA ROSCA, EM PTFE, ROLO DE 18 MM X 50 M (L X C)	UN	0,020	R$ 14,75	R$ 14,75	R$ 0,29	R$ 0,29
6323	TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1"	UN	1,000	R$ 24,11	R$ 24,11	R$ 24,11	R$ 24,11
7307	FUNDO ANTICORROSIVO PARA METAIS FERROSOS (ZARCAO)	L	0,005	R$ 46,29	R$ 46,29	R$ 0,23	R$ 0,23
88248	AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,601	R$ 22,39	R$ 24,02	R$ 13,45	R$ 14,43
88267	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,601	R$ 28,30	R$ 30,62	R$ 17,00	R$ 18,40

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Através das relações estabelecidas, dividiu-se o coeficiente da composição base (TÊ em ferro galvanizado) por três, considerando as três ramificações da conexão. O percentual de 1/3 obtido foi somado aos 3/3 completos de um TÊ, resultando no coeficiente adotado para as estimativas das composições das cruzetas com 4 ramificações. A seguir, as fórmulas utilizadas:

Tabela 10 - Relação aplicada para obtenção das composições de cruzeta em ferro galvanizado

Insumo	**Cálculo**	**Coeficiente adaptado**
3148	0,020 + (0,020 × 1/3) =	0,02666667
6323	1,000 + (1,000 × 1/3) =	1,33333333
7307	0,005 + (0,005 × 1/3) =	0,00666667
88248	0,601 + (0,601 × 1/3) =	0,80133333
88267	0,601 + (0,601 × 1/3) =	0,80133333

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Tabela 11 - Composição de custos unitárias adaptada para cruzeta em ferro galvanizado

10001 | CRUZETA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020 | UN							
Código SINAPI	**Descrição**	**Unid.**	**Coef.**	**Custo (desonerado)**	**Custo (Onerado)**	**Custo Parcial (desonerado)**	**Custo Parcial (Onerado)**
3148	FITA VEDA ROSCA, EM PTFE, ROLO DE 18 MM X 50 M (L X C)	UN	0,0267	R$ 14,75	R$ 14,75	R$ 0,39	R$ 0,39
6323	TE DE FERRO GALVANIZADO, DE 1"	UN	1,333	R$ 24,11	R$ 24,11	R$ 32,14	R$ 32,14
7307	FUNDO ANTICORROSIVO PARA METAIS FERROSOS (ZARCAO)	L	0,007	R$ 46,29	R$ 46,29	R$ 0,30	R$ 0,30
88248	AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,801	R$ 22,39	R$ 24,02	R$ 17,94	R$ 19,24
88267	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,801	R$ 28,30	R$ 30,62	R$ 22,67	R$ 24,53

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Após a catalogação de todos os materiais e a obtenção das respectivas composições de custo unitárias para a instalação e fornecimento do subsistema de sprinklers, foi possível avançar para o estudo de produtividade da mão de obra. O objetivo desse estudo foi determinar a quantidade de mão de obra necessária para executar os serviços com o tempo otimizado. Na Tabela 12, estão apresentadas todas as composições que serviram como base para este estudo, incluindo a tabela de origem de cada composição, seu respectivo código e a unidade de medida dos serviços.

Tabela 12 - Composições unitárias de produção da instalação do subsistema de sprinklers

Tabela de referência	Código	Descrição	Unidade
SINAPI	97535	TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	M
SINAPI	92652	TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 32 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	M
SINAPI	92653	TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	M
SINAPI	92654	TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 50 (2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	M
SINAPI	92655	TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 65 (2 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	M
SINAPI	92670	JOELHO 90 GRAUS, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92672	JOELHO 90 GRAUS, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 32 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92674	JOELHO 90 GRAUS, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92678	JOELHO 90 GRAUS, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 65 (2 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92681	TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92682	TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 32 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN

Tabela de referência	Código	Descrição	Unidade
SINAPI	92683	TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92660	LUVA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 32 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92666	LUVA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 65 (2 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI (adaptado)	10001	CRUZETA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. ADAPTADO SINAPI	UN
SINAPI	95696	SPRINKLER TIPO PENDENTE, 68 °C, UNIÃO POR ROSCA DN 15 (1/2") - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92943	LUVA DE REDUÇÃO, EM FERRO GALVANIZADO, 1 1/2" X 1 1/4", CONEXÃO ROSQUEADA, INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92657	NIPLE, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92659	NIPLE, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 32 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92661	NIPLE, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI (adaptado)	10002	CRUZETA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/4"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. ADAPTADO SINAPI	UN
SINAPI (adaptado)	10003	CRUZETA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 40 (1 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	101914	CAIXA DE INCÊNDIO 60X90X17CM - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN

Tabela de referência	Código	Descrição	Unidade
SINAPI	92676	JOELHO 90 GRAUS, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 50 (2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92684	TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 50 (2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92685	TÊ, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 65 (2 1/2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92947	LUVA DE REDUÇÃO, EM FERRO GALVANIZADO, 2" X 1 1/4", CONEXÃO ROSQUEADA, INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SINAPI	92664	LUVA, EM FERRO GALVANIZADO, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 50 (2"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN
SETOP	ED-49867/SETOP	BOMBA CENTRÍFUGA TRIFÁSICA DE 5CV, INCLUSIVE FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO	UN
SINAPI	94495	REGISTRO DE GAVETA BRUTO, LATÃO, ROSCÁVEL, 1" - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_08/2021	UN
SINAPI	94499	REGISTRO DE GAVETA BRUTO, LATÃO, ROSCÁVEL, 2 1/2" - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_08/2021	UN
AGETOP ROD	085083/AGETOP-ROD	CHAVE DE FLUXO 1"	UN
SINAPI	103019	REGISTRO OU VÁLVULA GLOBO ANGULAR EM LATÃO, PARA HIDRANTES EM INSTALAÇÃO PREDIAL DE INCÊNDIO, 45 GRAUS, 2 1/2" - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_08/2021	UN
SINAPI	103045	REGISTRO DE PRESSÃO, PVC, ROSCÁVEL, VOLANTE SIMPLES, 1/2" - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_08/2021	UN
SINAPI - SP	103033U	VÁLVULA DE SEGURANÇA À TEMPERATURA, 1/2" - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_08/2021	UN
SINAPI	101917	MANÔMETRO 0 A 200 PSI (0 A 14 KGF/CM2), D = 50MM - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020	UN

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Para todas as 36 composições utilizadas, existem dois profissionais necessários para realizar os serviços, um encanador ou bombeiro hidráulico e um auxiliar de encanador ou de bombeiro hidráulico. A exceção, é o serviço de fornecimento e instalação da bomba centrífuga trifásica de 5 CV, composição que além de apresentar a dupla de profissionais encanador e auxiliar de encanador, tem presente em sua composição a dupla de profissionais de eletricista e auxiliar de eletricista.

Desta forma para fins de dimensionamento do estudo de mão de obra otimizado, considerou-se nos cálculos e vínculos realizados em planilha excel, duas mãos de obra:

- MO 1: Mão de obra 1 (Encanador ou Bombeiro Hidráulico);
- MO 2: Mão de obra 2 (Auxiliar de Encanador ou Bombeiro Hidráulico).

Dentro de todas as composições de serviço, essa dupla de profissionais trabalha com o mesmo índice de produtividade. Então, temos como resultado a mesma quantidade de horas empenhadas pelas duas mãos de obra para a execução de um serviço. Conforme exemplificado na composição de fornecimento e instalação de Tubo de aço galvanizado com conexão rosqueada de 1” apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 - Composição de custo unitária de Tubo de aço galvanizado (1”)

97535 | TUBO DE AÇO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MÉDIA, CONEXÃO ROSQUEADA, DN 25 (1"), INSTALADO EM REDE DE ALIMENTAÇÃO PARA SPRINKLER - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_10/2020 | UN							
Código SINAPI	**Descrição**	**Unid.**	**Coef.**	**Custo (desonerado)**	**Custo (Onerado)**	**Custo Parcial (desonerado)**	**Custo Parcial (Onerado)**
40626	TUBO ACO GALVANIZADO COM COSTURA, CLASSE MEDIA, DN 1", E = 3,38 MM, PESO 2,50 KG/M (NBR 5580)	UN	1,039	R$ 35,78	R$ 35,78	R$ 37,17	R$ 37,17
88248	AUXILIAR DE ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,260	R$ 22,39	R$ 24,02	R$ 5,82	R$ 6,24
88267	ENCANADOR OU BOMBEIRO HIDRÁULICO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,260	R$ 28,30	R$ 30,62	R$ 7,35	R$ 7,96

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Utilizou-se o Excel para o desenvolvimento do estudo de produtividade e da mão de obra otimizada, que comporia o cenário 3. As composições foram agrupadas em um arquivo Excel, e os serviços necessários para a instalação do subsistema de sprinklers foram organizados dentro da Estrutura Analítica do Projeto (EAP), separando-os por pavimentos.

Considerando uma dupla de profissionais, composta pelo encanador e auxiliar de encanador, para execução de todos os serviços associados ao levantamento, obteve-se os dados apresentados na Tabela 14. Que representa a quantidade de dias estimados para a execução do subsistema de sprinklers por pavimentos, tendo como referência a produtividade da mão de obra obtida com as composições de custo unitário dos serviços.

Tabela 14 - Serviços e Tempo de Execução Estimado por Pavimento (uma dupla de profissionais)

	TÉRREO		**1º PAVIMENTO**		**2º PAVIMENTO**		**3º PAVIMENTO**		**4º PAVIMENTO**		**5º PAVIMENTO**		**COBERTURA**	
Serviços	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias
Instalação de Tubos de Aço (conexão rosqueada)	79,37	10	79,37	10	79,37	10	79,37	10	79,37	10	79,37	10	5,57	1
Instalação de Joelhos 90º para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	37,69	5	37,69	5	37,69	5	37,69	5	37,69	5	37,69	5	3,59	-
Instalação de TÊ para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	59,67	7	59,67	7	59,67	7	59,67	7	59,67	7	59,67	7	3,35	-
Instalação de Luvas de Redução para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	1,04	-	1,04	-	1,04	-	1,04	-	1,04	-	1,04	-	-	-
Instalação de Luvas para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	1,81	-	1,81	-	1,81	-	1,81	-	1,81	-	1,81	-	-	-
Instalação de Cruzeta para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	4,81	1	4,81	1	4,81	1	4,81	1	4,81	1	4,81	1	-	-
Instalação de Sprinkler (conexão rosqueada)	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	5,88	1	-	-
Instalação de Caixa de Incêndio	4,61	1	0,00	1	2,31	-	2,31	-	2,31	-	2,31	-	-	-
Instalação de Barrilete	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,39	1
TOTAL DE HORAS/DIAS DE SERVIÇO POR PAVIMENTO	194,87	24	190,26	24	192,56	24	192,56	24	192,56	24	192,56	24	18,90	2

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Os resultados apresentados na Tabela 14 correspondem aos cálculos realizados considerando uma equipe composta por um profissional e um auxiliar, resultando em um total de 146 dias para a execução completa do serviço de instalação do subsistema de sprinklers. Este valor, quando comparado ao planejamento inicial da gestão da obra, que estimava 65 dias, demonstra um descompasso de 111 dias.

Dessa forma, com o objetivo de propor o cenário 3, que contempla uma execução otimizada, foi preciso estimar o número de profissionais e a produtividade adequadas para que todos os serviços sejam concluídos em um período igual ou inferior ao planejado no cronograma inicial, apresentados na análise do cenário 1.

Observa-se pelos resultados apresentados na Tabela 14 que o único pavimento da obra que poderia ser executado dentro do prazo estipulado inicialmente era a cobertura, com a execução do barrilete. Todos os demais pavimentos apresentariam atrasos, conforme ilustrado de forma mais clara na Tabela 15, a seguir.

Tabela 15 - Diferença de execução planejada e calculada (uma dupla de profissionais)

	TÉRREO	**1º PAV**	**2º PAV**	**3º PAV**	**4º PAV**	**5º PAV**	**COBERTURA**
DIAS POR PAVIMENTO (01 DUPLA DE PROFISSIONAIS)	24	24	24	24	24	24	2
DIAS POR PAVIMENTO PLANEJADOS PELA OBRA INICIALMENTE	10	10	10	10	10	10	5
DIFERENÇA EM DIAS	14	14	14	14	14	14	+ 3

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

É evidente que os pavimentos Térreo, 1º pavimento, 2º pavimento, 3º pavimento, 4º pavimento e 5º pavimento necessitariam de um dimensionamento de mão de obra maior. Para calcular o número adequado de profissionais para a execução do sistema de instalação de sprinklers nos respectivos pavimentos, considerou-se o cronograma planejado da obra, que estipulava a conclusão de todos os serviços em um total de 60 dias úteis para estes pavimentos, o que equivale a 480 horas.

Para determinar a quantidade de mão de obra necessária para a instalação do subsistema de sprinklers nos pavimentos com dimensionamento inadequado da equipe, com base no cronograma original da obra, S A equação 5.1 foi utilizada.

$$H_{E1} \ / \ H_{CI} \ = \ C \qquad \textbf{(4.1)}$$

Onde:

H_{E1} refere-se estimadas para a execução dos serviços por uma dupla de profissionais;
H_{CI} refere-se horas disponíveis no cronograma inicial;
C refere-se ao coeficiente de mão de obra.

Aplicando, a equação 5.1 aos valores obtidos pelas relações supracitadas obtém-se:

$$1.155{,}38\ h \ / \ 480{,}00\ h \ = \ 2{,}41 \qquad \textbf{(4.2)}$$

Arredondando o coeficiente calculado para o maior número inteiro, chegou-se à conclusão de que para atender todos os serviços relacionados ao subsistema de sprinklers para o Térreo, 1º pavimento, 2º pavimento, 3º pavimento, 4º pavimento e 5º pavimento, necessita-se de três duplas de profissionais, compostas por três encanadores ou bombeiros hidráulicos e três auxiliares de encanador ou de bombeiro hidráulico. Diante disso, tem-se os resultados apresentados pela Tabela 16 para o dimensionamento da mão de obra, otimizado (cenário 3).

Tabela 16 - Serviços e Tempo de Execução Estimado por Pavimento para o cenário 3

	TÉRREO		**1º PAVIMENTO**		**2º PAVIMENTO**		**3º PAVIMENTO**		**4º PAVIMENTO**		**5º PAVIMENTO**		**COBERTURA**	
Serviços	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias	Horas	Dias
Instalação de Tubos de Aço (conexão rosqueada)	26,46	3	26,46	3	26,46	3	26,46	3	26,46	3	26,46	3	5,57	1
Instalação de Joelhos 90º para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	12,56	2	12,56	2	12,56	2	12,56	2	12,56	2	12,56	2	3,59	-
Instalação de TÊ para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	19,89	2	19,89	2	19,89	2	19,89	2	19,89	2	19,89	2	3,35	-
Instalação de Luvas de Redução para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	0,35	-	0,35	-	0,35	-	0,35	-	0,35	-	0,35	-	-	-
Instalação de Luvas para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	0,6	-	-	-
Instalação de Cruzeta para Tubos de Aço (conexão rosqueada)	1,6	-	1,6	-	1,6	-	1,6	-	1,6	-	1,6	-	-	-
Instalação de Sprinkler (conexão rosqueada)	1,96	-	1,96	-	1,96	-	1,96	-	1,96	-	1,96	-	-	-
Instalação de Caixa de Incêndio	1,54	-	0	-	0,77	-	0,77	-	0,77	-	0,77	-	-	-
Instalação de Barrilete	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,19	1
TOTAL DE HORAS/DIAS DE SERVIÇO POR PAVIMENTO	64,96	8	63,42	8	64,19	8	64,19	8	64,19	8	64,19	8	17,70	2

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Diante dos resultados obtidos, a Tabela 17 apresenta em síntese o cronograma de execução otimizado elaborado para o cenário 3, em que foi vinculado ao programa navisworks, para realizar a integração com dados geométricos do projeto em formato *ifc* e, obter a simulação do cenário proposto embasados nos estudos otimização de prazos e recursos. Foram utilizadas as datas referentes ao cenário 1, na qual a execução da obra estava prevista para ser iniciada, no dia 08/10/2024.

Tabela 17 - Cenário 3: cronograma otimizado

Lote	**Data de início**	**Data de término**	**Duração (dias)**
C - 0P1	08/10/2024	11/10/2024	4
C - 0P2	14/10/2024	17/10/2024	4
C - 1P1	18/10/2024	23/10/2024	4
C - 1P2	26/10/2024	29/10/2024	4
C - 2P1	30/10/2024	4/11/2024	4
C - 2P2	05/11/2024	8/11/2024	4
C - 3P1	11/11/2024	14/11/2024	4
C - 3P2	15/11/2024	20/11/2024	4
C - 4P1	21/11/2024	26/11/2024	4
C - 4P2	27/11/2024	02/12/2024	4
C - 5P1	03/12/2024	06/12/2024	4
C - 5P2	09/12/2024	12/12/2024	4
Barrilete	13/12/2024	16/12/2024	2

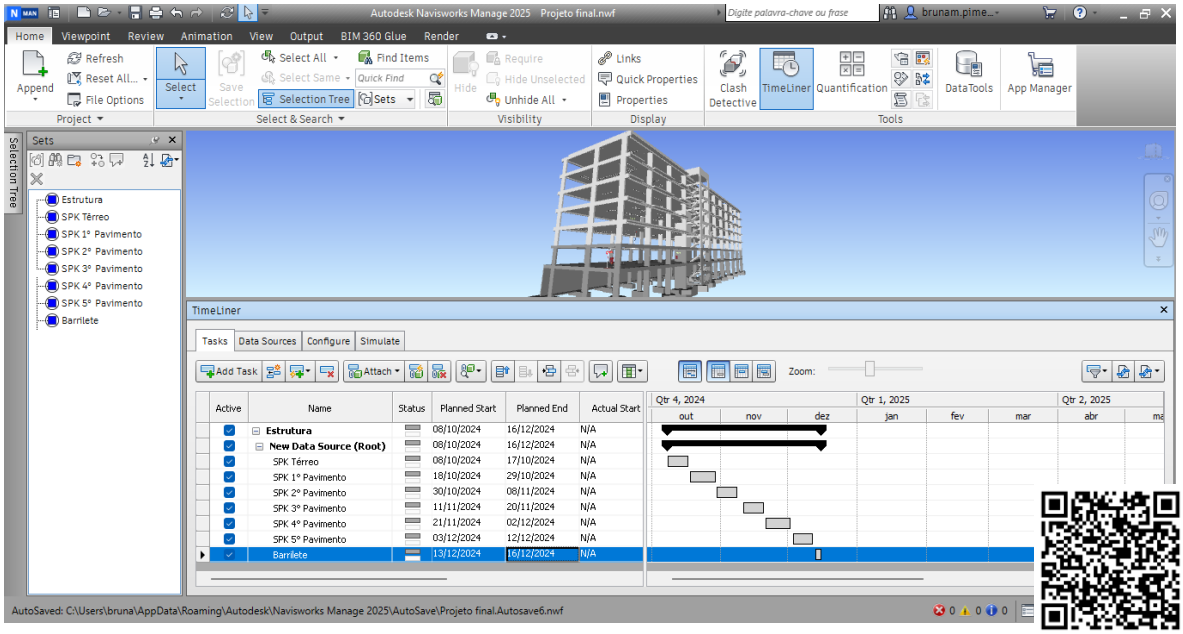
Fonte: Acervo da obra - plataforma Prevision, 2025.

Como resultado final deste processo, a partir das análises e levantamentos, procedeu-se à integração das informações ao modelo tridimensional do subsistema de sprinklers, incorporando-se as datas previstas para cada etapa executiva, foi feito uso da base estrutural para termos de visualização da construção. Esse processo permitiu a geração de um cenário otimizado e planejado de maneira crítica e efetiva, no qual o sequenciamento temporal foi associado diretamente aos elementos modelados. A implementação foi realizada no ambiente do Autodesk Navisworks, ferramenta que possibilitou a vinculação entre o modelo tridimensional e o cronograma, resultando em uma simulação 4D capaz de representar

visualmente o avanço da obra, identificar gargalos de execução e apoiar a tomada de decisões.

Para tanto, a Figura 21 apresenta a visualização da integração com QRCode integrado para a visualização em formato .MP4.

Figura 21: Simulação 4D do subsistema de sprinklers no Autodesk Navisworks.

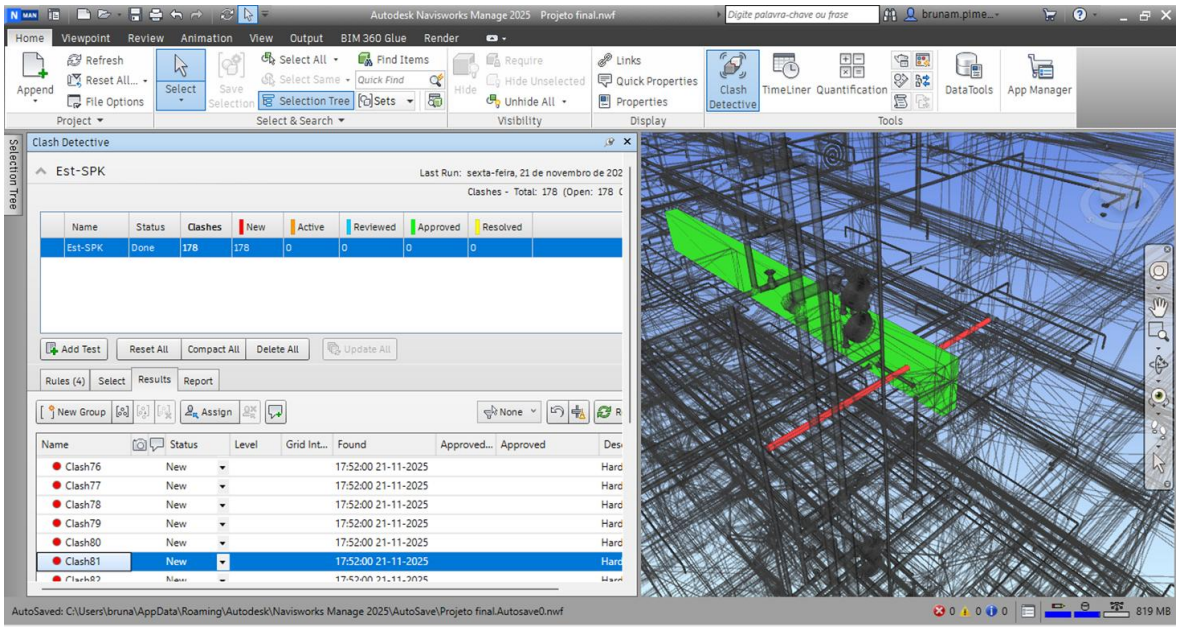


. Fontes: Integração: Acervo dos autores, 2025. Projeto: acervo da obra, 2025 .

Além dos benefícios diretos relacionados ao planejamento 4D, o processo de integração entre disciplinas dentro do software também evidenciou recursos pertencentes a níveis anteriores de maturidade BIM, que foi um dos problemas relatados nas ocorrências de atrasos. Entre esses recursos destaca-se a verificação de interferências, dado pela ferramenta cl*ash detection* vinculada ao *software*, que permite identificar potenciais incompatibilidades geométricas e funcionais ainda em fase pré-executiva. Embora não constitua o foco central desta pesquisa, o uso do *clash detection* demonstrou-se uma ferramenta relevante, contribuindo para a exibição de melhoria dos processos internos da obra e para a mitigação de problemas frequentemente observados em campo, como retrabalhos, adaptações improvisadas e atrasos decorrentes de conflitos entre sistemas.

Na Figura 21 é visualizada a tela do módulo *clash detection* evidenciando as incompatibilidades geométricas identificadas entre o subsistema de sprinklers e a estrutura.

Figura 21: Detecção de interferências pela ferramenta clash detection no Autodesk Navisworks



. Fontes: Integração: Acervo dos autores, 2025. Projeto: acervo da obra, 2025 .

A aplicação do BIM 4D, com a ferramenta de clash detection, fortalece o potencial da plataforma como uma solução integrada de gestão, apoiando a coordenação das disciplinas e o planejamento 4D. Isso melhora a confiabilidade do cenário simulado e a qualidade das decisões ao longo da execução, permitindo antecipar conflitos e ajustar a execução sem comprometer o planejamento. A integração das informações, a previsão das demandas de materiais, o planejamento da mão de obra e a delimitação de responsabilidades contratuais também foram benefícios significativos observados.

Entretanto, a eficácia do BIM 4D depende da qualidade e precisão dos dados fornecidos. A falta de levantamentos precisos ou inconsistências nos projetos podem prejudicar a assertividade das simulações e comprometer a tomada de decisão. Além disso, a plena integração entre equipes e disciplinas exige adaptações nas rotinas internas, treinamento adequado e alinhamento cultural, mostrando que a tecnologia sozinha não substitui práticas gerenciais bem estruturadas.

Portanto, o estudo de caso demonstrou que, embora o BIM 4D otimize o planejamento e execução, ele também requer uma gestão crítica e consciente das informações. Ele se mostra uma ferramenta estratégica para reduzir incertezas e mitigar problemas recorrentes no canteiro de obras, destacando a importância de uma implementação planejada que combine tecnologia, processos e pessoas para maximizar os resultados.

4.6. DIAGNÓSTICO DE ATRASOS E CONTRIBUIÇÕES DO BIM 4D

A partir dos dois cenários extraídos inicialmente, tornou-se possível avaliar a distribuição temporal das frentes de trabalho e identificar os pontos críticos do cronograma, evidenciando os respectivos atrasos. Nessa perspectiva, a comparação entre o Cenário 1 (programado) e o Cenário 2 (executado) revelou uma divergência cronológica de 258 dias no início do primeiro lote (C – 0P1) e de 246 dias no término do último lote concluído (C – 5P2), considerando que o barrilete ainda se encontrava em fase de execução. Os comparativos entre os lotes dos dois cenários estão sintetizados na Tabela 18.

Tabela 18 - Comparação do cenário 1 e 2

Lote	Início do serviço (dias)	Término do serviço (dias)
C - 0P1	-258	-256
C - 0P2	-249	-247
C - 1P1	-243	-243
C - 1P2	-267	-267
C - 2P1	-243	-242
C - 2P2	-242	-242
C - 3P1	-242	-242
C - 3P2	-242	-242
C - 4P1	-242	-242
C - 4P2	-242	-228
C - 5P1	-248	-246
C - 5P2	-248	-246
Barrilete	-122	-

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Os atrasos muito próximos entre si, demonstram que houve uma dificuldade em ajustar o cronograma ou em implementar ações corretivas eficazes e rápidas. Esse padrão repetitivo sugere a presença de gargalos contínuos, como exposto no item 4.2 acerca da indisponibilidade de mão de obra, falhas na logística de suprimentos, baixa produtividade das equipes, dificuldades de coordenação entre frentes de trabalho e incompatibilização de

projetos. A uniformidade dos atrasos reflete que essas limitações não foram tratadas ao longo da execução, mostrando um processo de gestão mais reativo do que preventivo.

Um ponto crítico revelado pelo comparativo é a ausência de um planejamento robusto, capaz de prever riscos e variações na execução real. O cronograma programado não incorporou adequadamente as condições práticas, as interferências entre atividades e a complexidade das frentes simultâneas. Como resultado, o cenário executado foi marcado por atrasos acumulados, reprogramações constantes e perda de ritmo produtivo. O fato de o barrilete ainda estar em execução, mesmo após a conclusão dos demais lotes, reforça a desarticulação entre as frentes e a falta de sequência lógica na execução.

Em síntese, o comparativo entre os dois cenários evidencia que a obra enfrentou dificuldades operacionais crônicas, indicativas de falhas de planejamento, como a alocação inadequada e subdimensionamento de recursos, ausência de estratégias eficazes de replanejamento frente às restrições impostas pelo avanço físico, inaplicabilidade do *last planner* e falta de controle efetivo do cronograma. O atraso expressivo acumulado ao longo de todos os lotes não apenas comprometeu o prazo final, mas também demonstrou a ausência de estratégias eficientes para corrigir desvios e restabelecer o desempenho esperado.

Os aspectos relatados pela obra começaram no processo primordial, que ao prever o início dos serviços de instalação do subsistema de sprinklers, a empresa gestora da obra realizou o processo de contratação de uma equipe especializada terceirizada. Entretanto, ao repassar as datas previstas no cronograma, não houve mobilização de mão de obra suficiente por parte da contratada para atender às demandas da obra. A equipe disponibilizada, composta apenas por 1 bombeiro hidráulico e 1 ajudante, mostrou-se claramente insuficiente para o volume de atividades programadas para a torre C, além de apresentar produtividade abaixo do esperado, o que contribuiu para o atraso na execução das frentes de trabalho.

Outro fator determinante para a quebra do sequenciamento dos serviços e consolidação deste, foi o atraso na disponibilização dos materiais necessários. Foram constatadas falhas recorrentes no processo de solicitação e fornecimento de materiais, uma vez que os levantamentos quantitativos ainda são realizados de forma manual pelos encarregados de campo. Além de demandar tempo significativo, essa prática expõe o processo a erros humanos, inconsistências e retrabalhos, dificultando a sincronização entre a necessidade produtiva e o fluxo de suprimentos.

A continuidade desse procedimento manual decorre da não implementação plena do processo de gestão em BIM, que deveria proporcionar maior precisão, integração e previsibilidade. A ausência de um ambiente digital consolidado compromete a visualização das etapas construtivas, dificulta a compatibilização entre disciplinas e reduz a capacidade de antecipar demandas de materiais com a antecedência necessária ao planejamento e compatibilização.

Por fim, outro aspecto relevante identificado nos relatos foi a falha no processo de compatibilização entre as disciplinas em execução. Verificou-se a ocorrência de interferências como a passagem de tubulações em locais onde havia vigas, ausência de espaço adequado no entreforro e conflitos com outras instalações complementares. Em diversos casos, essas incompatibilidades surgiram apenas no momento da execução, exigindo a interrupção das frentes de trabalho para avaliação técnica. Tais situações demandam o acionamento dos projetistas para promover ajustes e revisões de layout que garantam a viabilidade da instalação sem comprometer o desempenho e o padrão de qualidade do produto final. Essas intervenções emergenciais, além de impactarem diretamente o ritmo de produção, evidenciam a necessidade de um processo de coordenação de projetos mais robusto e integrado.

Cabe destacar que, ao longo da sequência cronológica de execução, ocorreu o distrato com a empresa inicialmente contratada, em razão do descumprimento dos prazos estabelecidos contratualmente. Após esse desligamento, e já com significativa defasagem temporal, procedeu-se à contratação de uma nova empresa terceirizada para dar continuidade aos serviços de baixo avanço e com pontos de retrabalho, fato esse que corroborou para a discrepância entre inícios com medições de avanço efetivamente executadas. Entretanto, mesmo com a substituição da equipe executora, permaneceram problemas recorrentes no processo de solicitação e fornecimento de materiais, bem como as interrupções causadas por erros e incompatibilidades de projeto, que continuaram a impactar negativamente o ritmo e o desempenho da obra.

Todos os aspectos evidenciam a ausência do *Last Planner System (LPS)*, ou seja, a não aplicabilidade do planejamento de curto e médio prazo, responsáveis por avaliar as intercorrências ao longo do processo. Sua inexistência elimina os mecanismos de coordenação, controle e aprendizagem contínua, dificultando a adoção de resolutivas rápidas e eficazes

Por consequência, com os fatos apresentados há evidências a ausência de integração entre planejamento, suprimentos, projetos e execução, o que resultou em atrasos recorrentes, perda de ritmo produtivo e maior exposição a falhas operacionais ao longo da obra. Em síntese, a falta de uma gestão orientada por modelos BIM, aliada à permanência de processos manuais e pouco padronizados, reduziu de forma significativa a agilidade e a precisão das previsões, comprometendo a capacidade de resposta e a tomada de decisão. Esse cenário impactou diretamente o cumprimento do cronograma e contribuiu para o descompasso observado entre o que foi planejado e o que efetivamente foi executado.

Apesar das tecnologias avançadas hoje disponíveis para o setor da construção civil, como ferramentas de modelagem BIM, plataformas integradas de planejamento e sistemas digitais de controle, observa-se que obras de grande porte ainda operam sob práticas arcaicas, dependentes de processos manuais, desconexos e pouco padronizados. A permanência desse modelo tradicional, mesmo em empreendimentos com elevada complexidade técnica, evidencia um descompasso entre o potencial tecnológico e a realidade operacional, refletindo-se em falhas de comunicação, baixa previsibilidade, improdutividade e atrasos significativos. Assim, os resultados obtidos reforçam a necessidade urgente de modernização dos processos, integração efetiva das ferramentas digitais e amadurecimento da cultura de gestão para que o setor possa atingir níveis mais elevados de eficiência, confiabilidade e desempenho.

Frente aos cenários expostos pela obra, com as divergências cronológicas entre planejado e executado, o cenário 3 buscou trazer prerrogativas que evidenciam o processo de efetivação e previsibilidade que devem compor um ambiente integrado de execução e o funcionamento do BIM 4D, para evitar ou contornar de maneira rápida e efetivas as intercorrências relatadas ao longo do percurso. As análises realizadas demonstraram que a metodologia permite o dimensionamento mais preciso da mão de obra, para aplicar a definição de responsabilidades e, para o caso em específico, trazer delimitações de termos contratuais com terceiros envolvidos no processo, em virtude da mitigação riscos de atrasos e retrabalhos, com ações corretivas rápidas.

Além disso, a melhoria de dimensões anteriores ao BIM 4D, isto é, do 3D, mostra-se fundamental como ferramenta de apoio, otimização de tempo, recurso e acertividade, permitindo levantamentos quantitativos e melhor compatibilização entre projetos de diferentes disciplinas, evitando conflitos antes da execução. Desse modo, a integração do

estudo permite também visualizar as etapas em uma perspectiva logística, em que possibilita o alinhamento entre as frentes de trabalho e os setores envolvidos no processo executivo.

Todos esses elementos integrados proporcionam um planejamento efetivo e consistente em todas as etapas da obra, permitindo que cada frente de trabalho seja coordenada de forma estratégica e alinhada aos objetivos gerais do empreendimento. A integração logística, promovida pelo BIM 4D, possibilita mapear o fluxo de materiais, prever necessidades de armazenamento e otimizar o uso do espaço no canteiro, evitando congestionamentos e atrasos decorrentes de movimentação inadequada de recursos conforme o andamento dos serviços. Tudo isso facilita o trabalho conjunto com o setor de suprimento, almoxarifado, transporte de materiais e equipes operacionais, promovendo maior previsibilidade nas entregas e melhor sincronização das atividades, otimizando em paralelo o espaço físico disponível.

A análise concisa do comparativo entre os cenários dispostos na Tabela 19, evidencia benefícios atrelados ao cenário produzido com a aplicação da metodologia BIM 4D, em que notou-se uma redução da conclusão do serviço em função das detecções antecipadas de incompatibilidades e gestão de frentes de serviço com locação correta da mão de obra e previsibilidade antecipação das solicitações de materiais embasadas nos levantamentos e datas programadas para chegada e estoque.

Tabela 19 - Comparativos entre cenários analisados

	CENÁRIO 1			CENÁRIO 2			CENÁRIO 3		
Lote	Data de início	Data de término	Duração (dias)	Data de início	Data de término	Duração (dias)	Data de início	Data de término	Duração (dias)
C - 0P1	8/10/2024	14/10/2024	5	23/6/2025	27/6/2025	4	8/10/2024	11/10/2024	4
C - 0P2	24/10/2024	30/10/2024	5	30/6/2025	4/7/2025	4	14/10/2024	17/10/2024	4
C - 1P1	31/10/2024	06/11/2024	5	01/07/2025	07/07/2025	5	18/10/2024	23/10/2024	4
C - 1P2	7/11/2024	13/11/2024	5	1/8/2025	7/8/2025	6	26/10/2024	29/10/2024	4
C - 2P1	14/11/2024	21/11/2024	5	15/7/2025	21/7/2025	6	30/10/2024	4/11/2024	4
C - 2P2	22/11/2024	28/11/2024	5	22/7/2025	28/7/2025	6	5/11/2024	8/11/2024	4
C - 3P1	29/11/2024	05/12/2024	5	29/07/2025	04/08/2025	6	11/11/2024	14/11/2024	4
C - 3P2	6/12/2024	12/12/2024	5	5/8/2025	11/8/2025	6	15/11/2024	20/11/2024	4
C - 4P1	13/12/2024	19/12/2024	5	12/8/2025	18/8/2025	6	21/11/2024	26/11/2024	4
C - 4P2	20/12/2024	09/01/2025	5	19/08/2025	25/08/2025	6	27/11/2024	02/12/2024	4
C - 5P1	10/01/2025	16/01/2025	5	15/09/2025	19/09/2025	4	03/12/2024	06/12/2024	4
Barrilete	04/04/2025	10/04/2025	5	04/08/2025	-	-	13/12/2024	16/12/2024	2
Total de Dias	65			64 + x dias			50		

Fonte: Acervo dos autores, 2025.

Portanto, essa visão integrada, constituída pelo cenário 3, permite ainda simular diferentes cenários de execução, identificar possíveis gargalos e propor ajustes antes da mobilização física, garantindo que decisões críticas sejam tomadas com base em informações concretas e coordenadas. O resultado é uma gestão mais proativa e controlada, capaz de minimizar retrabalhos, reduzir riscos de conflito entre disciplinas e assegurar que os prazos contratuais sejam cumpridos.

Assim, a aplicação do BIM 4D não se limita apenas à visualização do cronograma, mas se consolida como uma ferramenta estratégica de planejamento e logística, integrando quantitativos, compatibilizações, processos e recursos humanos em um fluxo contínuo que promove eficiência operacional e segurança na execução, desde a mobilização inicial até a entrega final do empreendimento ao cliente.

4.7. DIFICULDADES DA IMPLEMENTAÇÃO DO BIM 4D

A análise realizada apresentou indícios de que a implementação do BIM 4D, apesar de seu potencial para aprimorar o planejamento e o controle da obra, ainda encontra limitações significativas no ambiente estudado.

Verificou-se dentro dos indicativos que a empresa responsável pelo empreendimento, embora possua longa trajetória no âmbito da construção civil, mantém práticas fortemente enraizadas em métodos tradicionais que acompanharam sua história. A cultura organizacional, mostrou-se vinculada a processos convencionais, que demonstram o processo dificultado para a adoção plena de tecnologias digitais mais avançadas.

Além disso, consoante ao apresentado por Nechyporchuk e Baskova (2021) a necessidade de capacitação específica para o uso das ferramentas BIM destaca-se como um dos principais desafios, em virtude da curva de aprendizado das equipes. Outrossim, a compatibilização de modelos continua a apresentar inconsistências entre disciplinas, exigindo revisões frequentes, enquanto a integração entre diferentes softwares revela limitações de interoperabilidade que comprometem o fluxo contínuo de informações.

Um aspecto adicional observado, embora não explicitado diretamente pelos envolvidos, diz respeito ao impacto das estruturas hierárquicas e dos fluxos de decisão na adoção do BIM 4D. Notou-se que, por ser uma empresa tradicional e com organização bastante verticalizada, as mudanças tecnológicas tendem a avançar de forma lenta, uma vez que decisões estratégicas e operacionais passam por múltiplas camadas de aprovação. Esse modelo, embora sólido para garantir controle e padronização, acaba por reduzir a agilidade necessária para implementar novos processos digitais, dificultando a experimentação e a adaptação rápida das equipes.

Ademais, há indícios da falta de integração sistemática entre os setores administrativo, de engenharia e de tecnologia, os quais contribuem para a fragmentação das informações, criando barreiras adicionais para o uso eficaz do BIM 4D. Assim, mais do que desafios técnicos, o processo evidencia também a necessidade de revisar práticas internas de comunicação, governança e gestão de inovação, elementos que se mostram decisivos para modernizar o ambiente organizacional e potencializar o uso de novas metodologias construtivas.

Diante dos parâmetros indicativos, conclui-se que a adoção do BIM 4D em larga escala depende não apenas de investimentos tecnológicos, mas também de uma transformação cultural interna. A modernização dos processos, a criação de protocolos padronizados e a capacitação contínua das equipes tornam-se essenciais para que a empresa consiga superar suas práticas históricas e incorporar efetivamente novas metodologias, ampliando a eficiência e a confiabilidade de seus projetos.

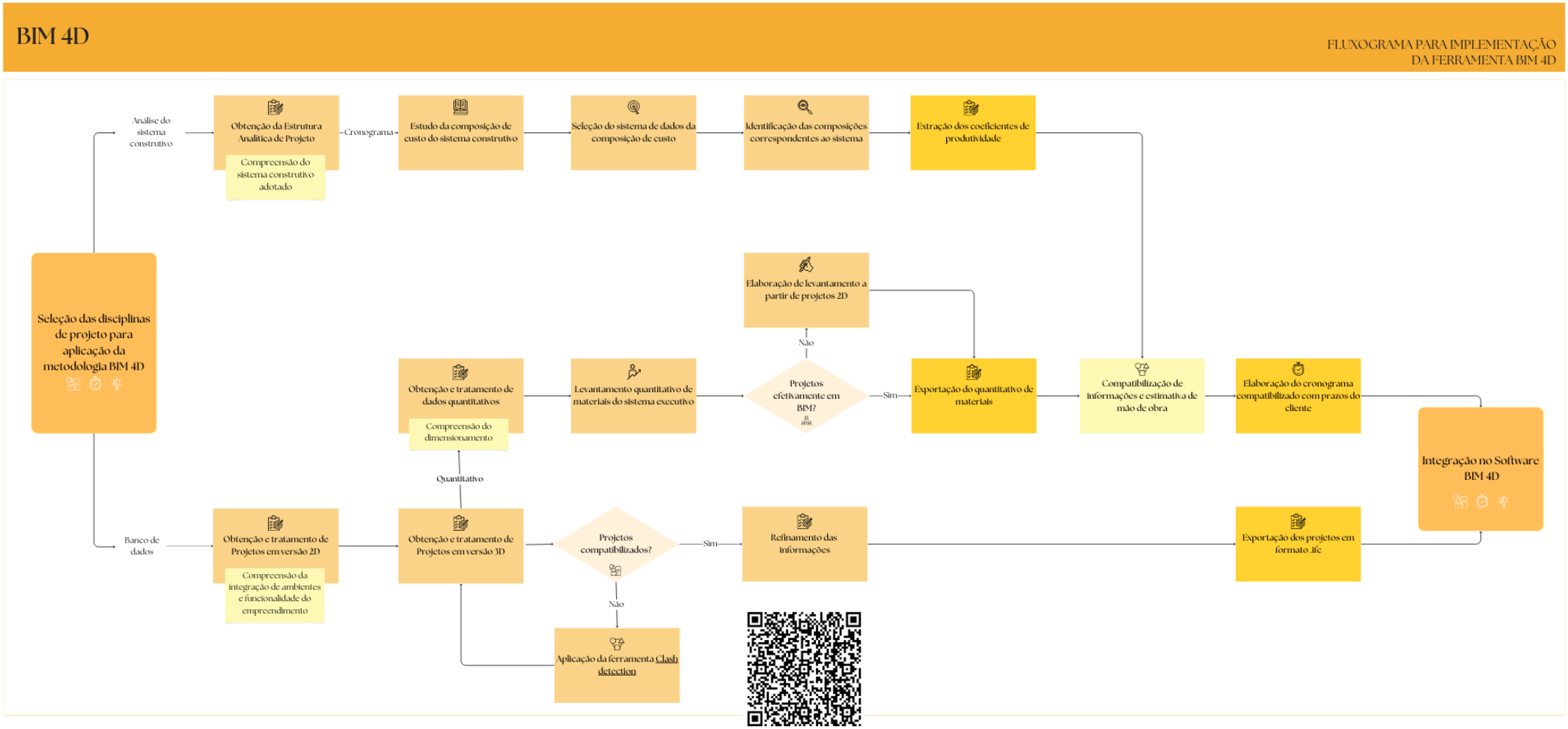
4.8. FLUXOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIM 4D

Como produto final da metodologia adotada, foi desenvolvido um fluxograma de implementação do BIM 4D que sintetiza, de forma estruturada, todas as etapas necessárias para integrar o modelo digital ao planejamento executivo da obra, dentro das frentes e condições embasadas. Esse fluxograma constitui um dos resultados centrais do estudo, pois transforma o conhecimento obtido nas análises em um procedimento aplicável.

Para tanto, a Figura 22 sintetiza então o fluxo sequencial da aplicação da ferramenta explorada com QRCode integrado para a visualização mais nítida do fluxograma proposto.

O fluxograma estabelece um encadeamento lógico de atividades, abrangendo desde a preparação dos modelos e organização dos dados até a vinculação dos elementos ao cronograma e à geração das simulações 4D. Ao definir fluxos de informação e pontos de verificação, o material fornece um roteiro claro para orientar equipes técnicas na adoção da metodologia em estudos futuros e ambientes reais de obra.

Figura 22: Fluxograma de aplicação da ferramenta BIM 4D



. Fonte: Acervo dos autores, 202

5. CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a aplicação do BIM 4D no planejamento, controle e gerenciamento de uma obra predial, com foco no subsistema de sprinklers, demonstrando que a metodologia se configura como ferramenta estratégica para aprimorar a previsibilidade do cronograma, antecipar conflitos e aumentar a eficiência do sequenciamento construtivo.

A coleta, estruturação e integração dos dados permitiram estabelecer uma correspondência consistente entre os elementos modelados e as atividades do cronograma, viabilizando simulações capazes de evidenciar com clareza o comportamento temporal da execução.

No recorte analisado, observou-se um descompasso expressivo entre o planejado e o executado, a partir dos cenários 1 e 2 extraídos do Prevision. A instalação do subsistema de sprinklers apresentou um atraso inicial de 258 dias, seguido de sucessivas defasagens nos lotes subsequentes, evidenciando fragilidades de gestão e descontinuidade no fluxo produtivo. A investigação das causas apontou quatro fatores recorrentes: indisponibilidade ou subdimensionamento de mão de obra, baixa produtividade em relação ao estimado, atrasos no fornecimento de materiais e incompatibilidades entre disciplinas. Esses pontos configuram um conjunto de gargalos sistemáticos que comprometeram a estabilidade do sequenciamento.

Em paralelo, a construção de um cenário alternativo e otimizado reforçou o potencial da abordagem 4D para quantificar impactos, reorganizar frentes de trabalho e aprimorar a alocação de recursos, reduzindo a probabilidade de retrabalhos e interrupções.

Embora a modelagem 4D tenha demonstrado capacidade de mitigar parte dessas problemáticas ao proporcionar visualização temporal, verificação de interferências e apoio à organização do canteiro, sua efetividade depende da qualidade das informações que alimentam o processo. Questões como interoperabilidade de arquivos, governança de dados em ambiente CDE, maturidade de modelagem e sistematização do monitoramento de progresso configuram variáveis determinantes.

Além disso, a adoção plena da ferramenta BIM 4D ainda encontra barreiras técnicas e organizacionais, entre elas custos iniciais, curva de aprendizagem, resistência cultural e necessidade de padronização de fluxos de trabalho.

Como contribuição prática deste estudo, desenvolveu-se um fluxograma de implementação do BIM 4D que sistematiza de maneira clara todo o processo de preparação, vinculação e verificação entre modelo e cronograma. Além de organizar e visualizar as etapas executivas em uma sequência lógica, o fluxograma associa cada pacote de trabalho aos recursos necessários, aos tempos de execução e às dependências entre atividades, permitindo identificar pontos críticos do cronograma e elaboração do cálculo de produtividades reais a partir dos dados coletados em campo.

Ao mapear com precisão a correspondência entre elementos modelados (geometria, quantitativos e frentes de trabalho) e as atividades previstas no cronograma, o instrumento assegura que cada tarefa esteja vinculada a um volume específico de trabalho, condição fundamental para gerar simulações 4D e avaliar o avanço físico da obra com maior confiabilidade. Além disso, a sistematização do fluxo de execução fornece uma base robusta para a comparação entre o cenário planejado e o executado, possibilitando identificar desvios de produtividade, reconhecer gargalos operacionais e propor ajustes na sequência ou na alocação de recursos. Dessa forma, o fluxograma fortalece o uso do BIM 4D como ferramenta de apoio à tomada de decisão, contribuindo para otimizações na programação e para a melhoria contínua da execução.

Conclui-se, portanto, que o BIM 4D agrega valor técnico e gerencial significativo ao controle de obras prediais, especialmente em sistemas críticos como o de sprinklers. Sua eficácia, entretanto, exige uma abordagem integrada que articule tecnologia, processos e capacitação profissional, de modo a transformar seu potencial analítico em desempenho comprovado no ambiente de obra.

Como continuidade desta pesquisa, propõe-se ampliar o escopo disciplinar (incluindo elétrica, HVAC e arquitetura), incorporar dimensões adicionais como o 5D (custos) e métodos de monitoramento em campo, além de investigar estratégias organizacionais que facilitem a implementação da metodologia e reduzam barreiras culturais e técnicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Processo de Projeto BIM. Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC, [S. l.], p. 13, 1 jan. 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 19650-1:2022. Organização e digitalização de informações sobre edifícios e engenharia civil, incluindo BIM – Gestão da informação usando o Building Information Modelling – Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 10.897:2020. Sistemas de proteção por chuveiros automáticos (sprinklers) – Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2020.

ABRAINC - Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias. Disponível em: https://www.abrainc.org.br/construcao-civil/2021/12/02/pib-da-construcao-cresce-39-no-3o. Acesso em: 13/01/2025.

AHANKOOB, Alireza et al. Optimizing Construction Scheduling Through Use of Building Information Modeling in Construction Industry. In: MANAGEMENT IN CONSTRUCTION RESEARCH ASSOCIATION, 2012, Malásia. Proceedings […]. Malásia: Universiti Teknologi Malaysia, 2012. p. 166-171.

AHMED, S. Barriers to implementation of building information modeling (BIM) to the construction industry: a review. J. Civ. Eng. Constr. 7 (2), 107, 2018.

AHMED, S. 4D BIM for construction management: Integration of 3D models with project schedules. Journal of Construction Engineering and Management, v. 144, n. 5, 2018.

AOUAD, G. et al. An industry foundation classes Web-based collaborative construction computer environment: WISPER. Automation in Construction, n. 10, p. 79–99, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Prática recomendada: ABNT PR 1015: Ambiente Comum de Dados (CDE). Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AUTODESK INC. Autodesk Navisworks, 2023. Disponível em: https://www.autodesk.com/br/products/navisworks/3d-viewers. Acesso em: 7 de janeiro de 2025.

Azhar, S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Manag. in Eng., v. 11, p. 241-252, 2011.

BIMForum. “Level of development specification.” 2016. Disponível em: https://bimforum.org/wp-content/uploads/2022/06/BIMForum_LOD_2016_reprint.pdf. Acesso em: 25 jan. 2025.

BONFANTE, Hortência Santos Teixeira; PALMISANO, Angelo. TENDÊNCIAS E DESAFIOS NA EVOLUÇÃO DO BUILDING INFORMATION MODELING (BIM): ANÁLISE TEÓRICA DAS DIMENSÕES TRADICIONAIS AOS PARADIGMAS EMERGENTES NA CONSTRUÇÃO CIVIL. REPAE-Revista de Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia, v. 10, n. 2, p. 64-74, 2024.

BOSCH-SIJTSEMA, P.; ISAKSSON, A.; LENNARTSSON, M.; LINDEROTH, H.C.J. Barriers and facilitators for BIM use among Swedish medium-sized contractors - ‘we wait until someone tells us to use it. Vis. Eng. 5 (1), 2017.

BRASIL. Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018. Dispõe sobre a governança no âmbito da administração pública federal direta, autárquica e fundacional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 18 maio de 2018.

BRASIL. Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020. Dispõe sobre a gestão e a operacionalização do Regime Diferenciado de Contratações Públicas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 abr. 2020.

BRASIL. Decreto nº 11.888, de 10 de janeiro de 2024. Institui a Nova Estratégia Nacional de Disseminação do BIM (Nova BIM BR) e dispõe sobre sua governança. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 jan. 2024.

BRASIL. Lei nº 12.546, de 14 de dezembro de 2011. Dispõe sobre o Regime Especial de Reintegração de Valores Tributários para as Empresas Exportadoras (Reintegra); altera as Leis nos 11.774, de 17 de setembro de 2008, […], e dá outras providências. (Redação e alterações posteriores dadas pelas Leis nº 12.844/2013, nº 13.161/2015 e nº 14.288/2021). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 dez. 2011.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. Estabelece normas gerais de licitação e contratação para a administração pública. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 1º abr. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. Plano de Trabalho Nova BIM BR. Brasília, DF, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/ambiente-de-negocios/competitividade-industrial/nova-bim-br. Acesso em: 16 fev. 2025.

BRITO, Douglas Malheiro de; FERREIRA, Emerson de Andrade Marques. Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D. Ambiente Construído, v. 15, p. 203-223, 2015.

BTPOUSH, M.; HARON, A.T. Understanding BIM adoption in the AEC industry: the case of Jordan. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng, 271, no. 1, 2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Caderno Técnico de Composições de Custo: Instalações de Gás e Incêndio em Aço e Ferro Galvanizado do SINAPI. [S.l.: s.n.], 2020. 200 p. (Aferido em outubro de 2020).

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. SINAPI: Referências para Custos Horários e Encargos: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. 5. ed. Brasília, DF: Caixa, 2022.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Livro SINAPI Cálculos e Parâmetros. 7. ed. Brasília, DF: Caixa, 2025. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-metodologia/Livro_SINAPI_Calculos_Parametros.pdf. Acesso em: 07 de novembro de 2025.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). CBIC projeta crescimento de 4,1% para a construção civil em 2024, mas desafios persistem para 2025. Disponível em: https://cbic.org.br/cbic-projeta-crescimento-de-41-para-a-construcao -civil-em-2024-mas-desafios-persistem-para-2025/. Acesso em: 16 fev. 2025.

CAMPESTRINI, Tiago; GARRIDO, Marlon; JR., Ricardo; SCHEER, Sérgio; FREITAS, Maria. Entendendo BIM: Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação. 1a edição, Curitiba, 2015.

CARDOSO, Heverton Alves et al. Metodologia BIM aplicada a um projeto residencial unifamiliar. 2022.

CARVALHO, Guilherme Sampaio Correia de; MARCHIORI, Fernanda. Conhecendo o orçamento de obras: como tornar seu orçamento mais real. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

CASTELO BRANCO, Yallis José do Nascimento. Adequação do sistema de combate a incêndio em prédio residencial utilizando a metodologia BIM / Yallis José do Nascimento Castelo Branco. São Luís-MA, 2024.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). Sistema de Gerenciamento de Custos de Obras (GCPO): Banco Geral de Custos Unitários (BGCU). Brasília, DF, [Ano de Publicação/Atualização do Banco, ou usar o ano de acesso se não houver data explícita]. Disponível em: https://sistemas.caesb.df.gov.br/gcpo/app/publico/item;jsessionid=672112BA1D4DE4D212A6BDFDB57362FA?execution=e1s1. Acesso em: 21 de outubro de 2025.

CORRÊA, Leonardo de Aguiar; MARCHIORI, Fernanda Fernandes. 4D BIM na construção civil e sua relação com lean construction: revisão sistemática da literatura. 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, p. 100-107, 2017.

CRASA. Entendendo a Modelagem de Informação da Construção (BIM). Disponível em: https://www.crasainfra.com/post/entendendo-a-modelagem-de-informa%C3%A7%C3%A3oda-constru%C3%A7%C3%A3o-bim. Acesso em: 20 jan. 2025.

DA SILVA, Rodrigo; CARVALHO, Michele. Revisão da literatura da integração BIM-IA na construção civil. 4º Congresso Português de Building Information Modelling, 2022.

DA SILVA, Rodrigo Otávio Valente Ribeiro da. Visão computacional e inteligência artificial aplicadas à avaliação do progresso de construções em simulações BIM 4D. 2024.

DIAS, Raul. Planejamento BIM 4D e simulação construtiva em silos metálicos planos. Universidade Tecnológica Federal do Pará, Brasil, 2021.

EARLY ENGENHARIA. subsistema de sprinklers. Disponível em: https://earlyengenharia.com.br/servicos/sistema-de-sprinklers/. Acesso em: 09 de setembro de 2025.

EASTMAN, P.; TEICHOLZ; SACKS, L. BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2011.

EASTMAN et al. Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1.ed. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2014. Tradução: Cervantes Gonçalves Ayres Filho et al.

ENEGBUMA, W.I.; ALIAGHA, G.U.; ALI, K.N.; BADIRU, Y.Y. Confirmatory strategic information technology implementation for building information modelling adoption model. J. Constr. Dev. Ctries. 21 (2), p. 113–129, 2016.

ENGETELES. 6 fatos sobre planejamento e controle da manutenção. Engeteles, [Ano]. Disponível em: https://engeteles.com.br/6-fatos-sobre-planejamento-e-controle-da-manutencao/. Acesso em: 19 de novembro de 2025.

FERREIRA, Ricardo.; LEUSIN, Sergio. Guias de contratação BIM: conceitos básicos e requisitos para contratação BIM. 1 ed. São Paulo: Bim Fórum Brasil - BFB: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2023.

FISCHER, M.; HAYMAKER, J.; LISTON, K. Benefits of 3D and 4D Models for Facility Managers and AEC Service Providers. In: ISSA, R. R.; FLOOD, I.; O'BRIEN, W. J. 4D CAD and Visualization in Construction: developments and applications. Lisse/Abingon/Exton (PA): A. A. Balkema Publishers, 2005.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA (FDTE). Manual de Gestão de Projetos para Construção Civil. São Paulo, 2023. Disponível em: https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/portuguese-english/ documento. Acesso em: 27 de novembro de 2025.

GOIÁS. Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA). Tabela de Composição de Preços e Custos: Composições de Custo - Novembro/2020 (Onerada e

Desonerada). Goiânia, GO, 2020. Disponível em: https://www.goinfra.go.gov.br/ tabela-de-composicao/114. Acesso em: 21 de novembro de 2025.

GRYTTING, I.; SVALESTUEN, F.; LOHNE, J.; SOMMERSETH, H.; AUGDAL, S.; LÆDRE, O. Use of LoD decision plan in BIM-projects. Proc. Engineering 196, p. 407-414, 2017.

HARDIN, B.; McCOOL, D. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows. 2nd ed. Indianapolis: Wiley, 2015.

HAUTALA, Kirsi; JÄRVENPÄÄ, Matti-Esko; PULKKINEN, Pekka. Digitalization transforms the construction sector throughout asset's life-cycle from design to operation and maintenance. Stahlbau, v. 86, n. 4, p. 340-345, 2017.

HERR, C.M.; FISCHER, T. BIM adoption across the Chinese AEC industries: an extended BIM adoption model. J. Comput. Des. Eng., p. 1–6, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produto Interno Bruto - PIB. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php. Acesso em: 16 fev. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles, 2018.

ISO. ISO 29481-1:2016 - Building Information Models – Information Delivery Manual – Part 1: Methodology and Format. Disponível em: https://www.iso.org/standard/60553.html. Acesso em: 17 jan. 2025.

GOMES, Adiel Silva; SANTOS, Thiago Sette. Analysis Of Management Of Residential Works Between Conventional Methods And BIM. Rev.Multi.Sert. v.03, n.3, p. 377-388, Jul-Set, 2021.

KOO, B.; FISCHER, M. Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction. Palo Alto, US: Stanford University, 1998.

KOUTAMANIS, Alexander. Dimensionalidade em BIM: Por que BIM não pode ter mais de quatro dimensões?. *Automation in Construction*, v. 114, p. 103153, 2020.

KOUTROS, Efstratios; ANAGNOSTOPOULOS, Christos-Nikolaos. Uma revisão da modelagem de informações de construção do patrimônio: classificação de HBIM por meio da utilização de diferentes dimensões (3D a 7D). Em: *Conferência internacional sobre modelagem multiespectral transdisciplinar e cooperação para a preservação do patrimônio cultural*. Springer, Cham, 2023. p. 287-297.

Limeira, Marianni Pereira. Otimização do fluxo de processos em gerenciamento de projetos BIM: um estudo de caso utilizando ferramentas integradas. Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

MAINI, DEEPAK. Up and Running with Autodesk Navisworks 2023 (English Edition). 2023.

MATTOS, Aldo Dórea. Como preparar orçamentos de obras. 9. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MARTINS, J. Z.; BUZAR, M. A. R. Interoperabilidade no processo Building Information Modeling (BIM). Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, p. 92–118, 11 dez. 2023.

MAXIMIANO, C. A.; VERONEZE, F. Gestão de Projetos – Preditiva, ágil e estratégica. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

MINAS GERAIS. Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais (DER-MG). Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO): Tabela de Composição de Preços – Região Central (Sem Desoneração). Belo Horizonte, MG, 2025. Publicado em: 29 set. 2025. Disponível em: https://portal.der.mg.gov.br/portal-servicos-frontend/dynamic-menu/ 10. Acesso em: 2 dez. 2025.

MIRANDA, Rian das Dores de; SALVI, Levi. Análise da tecnologia BIM no contexto da indústria da construção civil brasileira. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano, v. 4, p. 79-98, 2019.

MOTTER, A.G.; CAMPELO, H.Q. Implantação da tecnologia BIM em escritórios de projetos na região de Curitiba - estudo de casos. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

NAVISWORKS. Projeto Batente, 2020. Disponível em: https://projetobatente.com.br/wp-content/uploads/2020/04/navisworks.png . Acesso em: 08 de jan. de 2025.

NECHYPORCHUK, Y.; BASKOVA, R. O nível de detalhes para modelagem BIM 4D. Em: IOP Conference Series: Ciência e Engenharia de Materiais. IOP Publishing, 2021. p. 012002.

OKERE, George; AMOAH, Kwame B. Teaching Project Planning and 4D Scheduling in a Project Planning and Scheduling Course. 2024.

OLAWUMI, T.O.; CHAN, D.W.M.; WONG, J.K.W.; CHAN, A.P.C. Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: a Delphi survey of international experts. J. Build. Eng. 20 (January), p. 60–71, 2018.

Os Desafios da Implementação de Tecnologias Digitais na Construção Civil. Associação Brasiliense de Construtores – ASBRASCO. Disponível em: https://asbraco.org.br/os-desafios-da-implementacao-de-tecnologias-digitais-na-construcao-civil/. Acesso em 12 de jan. de 2025.

NFPA. NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2019.

PACHECO, Bruna; DELEGREGO, Victor; PEREIRA, Victor. Guia Básico IFC. [S. l.]: LA BIM, 2020.

PANEARU, Suman; JEELANI, Idris. Computer vision applications in construction: Current state, opportunities & challenges. Automation in Construction, v. 132, p. 103940, 2021.

PETERSEN, J.; JENSEN, K. Coordination challenges in fire protection systems: A BIM perspective. *Automation in Construction*, v. 113, p. 103141, 2020.

PIASECKIENĖ, Gintarė. BIM DIMENSIJOS LITERATŪROJE: APŽVALGA IR ANALIZĖ. *Science: Future of Lithuania/Mokslas: Lietuvos Ateitis*, v. 14, 2022.

PINI. TCPO: Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos: Engenharia Civil, Construção e Arquitetura. [Título da página/seção]. Disponível em: https://tcpoweb.pini.com.br/PesqServicosTreeView.aspx. Acesso em: [data de acesso].

PISHDAD-BOZORGI, P.; GAO, X.; EASTMAN, C.; SELF, A.P. Planning and developing facility management-enabled building information model (FM-enabled BIM). Autom. Constr. 87, p. 22–38, 2018.

PRASHANT GANDH, S.R.; KHANNA, Somesh. Which industries are the most digital and why. Harvard Business Review. 2016. Disponível em: https://hbr.org/2016/04/a-chart-that-shows-which-industries-are-the-most-digital-and-why. Acesso em: 18 jan. 2025.

RAKIB, Farhad Hossain et al. Aplicação de interoperabilidade baseada em BIM: um estudo de caso. *Journal of Logistics, Informatics and Service Science*, v. 6, n. 1, p. 106-114, 2019.

RODRIGUES, Priscilla. Uma proposta de integração do modelo BIM ao sistema last planner. Ambiente Construído, Porto Alegre, [S. l.], p. 4, 5 dez. 2018.

SACCKS, R. et al. Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, v. I, 2021.

SAMPAIO, A.Z. BIM as a Computer-Aided Design methodology in Civil Engineering. Int. J. Softw. Eng. Its Appl. 2017, v. 10, p. 194–210.

SANON, Stéphania; BOTON, Conrad. Comparative Study of Three 4D Simulation Software. 2024.

SHEHZAD, Hafiz Muhammad Faisal et al. O papel das dimensões de interoperabilidade na modelagem de informações de construção. Computadores na Indústria, v. 129, p. 103444, 2021.

SHEHZAD, H.M.F. et al. Recent developments of BIM adoption based on categorization, identification and factors: a systematic literature review. Int. J. Constr. Manag., p. 1–13, 2020. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2020.1837719. Acesso em: 17 jan. 2025.

SILVA, B. F. GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO BIM NA ÁREA DE SANEAMENTO BÁSICO. Aparecida de Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.

SILVA, T.; MANTA, R.; TETI, B.; MELHADO, S.; BARKOKÉBAS JUNIOR, B.; LAFAYETTE, K. BIM (8D) como ferramenta de gestão em segurança ocupacional: perspectivas de uso. In: Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 6. Uberlândia. Anais... Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 636-646. DOI https://doi.org/10.14393/sbqp19059. Acessso em: 17 jan. 2025.

SKOP. Como funciona o subsistema de sprinklers?. Disponível em: https://www.skop.com.br/blog/como-funciona-o-sistema-de-sprinklers/. Acesso em: 08 de setembro de 2025.

SOUSA, R. W. D. S. A UTILIZAÇÃO DE BIM PARA O LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS: ESTUDO DE CASO DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO DE GRANDE PORTE. Palmas (TO): Universidade Federal do Tocantins, 2019.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. Manual básico de indicadores de produtividade na construção civil. Brasília, DF: CBIC, 2017.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. Como aumentar a eficiência da mão-de-obra. São Paulo: Pini, 2006.

SOUZA, U. E. L. Produtividade e custos dos sistemas de colocação vertical. In: TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: vedações verticais. São Paulo: PCC-EPUSP, 1998. p. 237-248.

TAVARES, M. B. L. DETECÇÃO E CORREÇÃO AUTOMÁTICA DE INTERFERÊNCIAS ENTRE REDES DE SANEAMENTO UTILIZANDO SOFTWARE BIM. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023.

TOMÉ, Débora Arjona. Seminário de Segurança Contra Incêndio e Emergência: subsistema de sprinklers. Disponível em: https://eventos.bombeiros.to.gov.br/seminariomif/assets/pdf/palestra_sprinkler.pdf. Acesso em: 09 de setembro de 2025.

VARGAS, R. V. Manual prático do plano de projetos. 6. ed. São Paulo: Brasport, 2018.

WALASEK, D.; BARSZCZ, A. Analysis of the adoption rate of building information modeling (BIM) and its return on investment (ROI). Proced. Eng. 172, p. 1227–1234, 2017.

WILDENAUER, Adrian August. Avaliação crítica das definições existentes de dimensões BIM no exemplo da Suíça. *Terminologia*, v. 23, p. 24, 2020.

ZHANG, Jiaying; CHENG, Jack CP; CHEN, Weiwei; CHEN, Keyu. Digital twins for construction sites: concepts, LoD definition, and applications. *Journal of Management in Engineering*, v. 38, n. 2, p. 04021094, 2022.

ZHANG, L.; HU, Y. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: Principles and methodologies. *Automation in Construction*, v. 20, n. 2, p. 155-166, 2011. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.004.

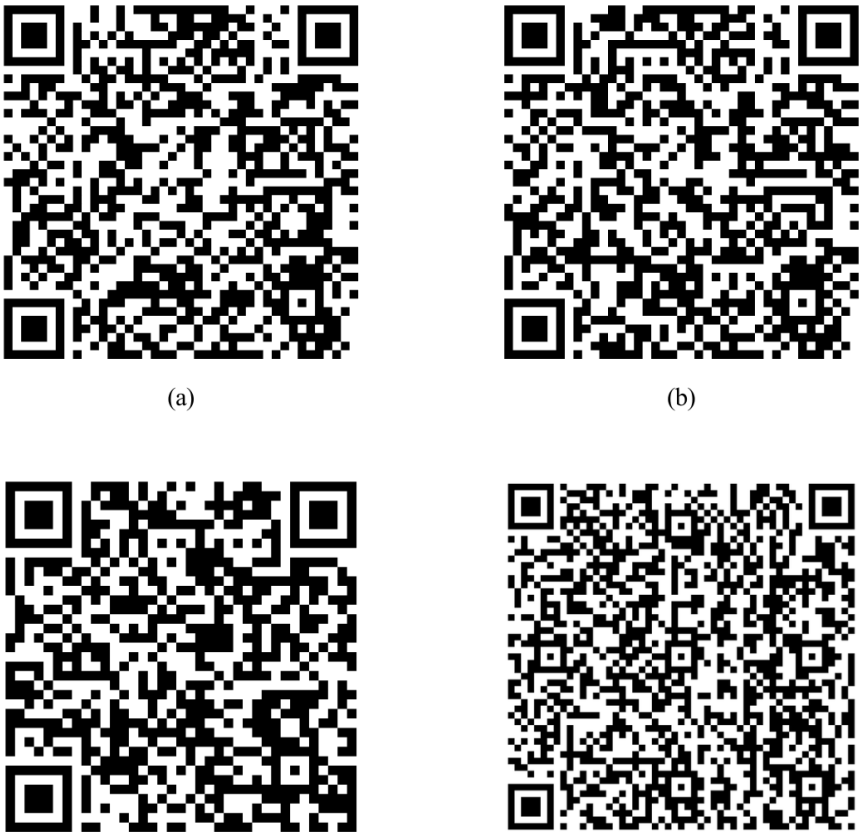
APÊNDICE I

Dentre os materiais técnicos e resultados desenvolvidos no decorrer da realização deste estudo de caso, que focou na análise dos efeitos da aplicação da metodologia BIM 4D integrada ao controle e gerenciamento de uma obra predial, com foco no sistema construtivo de instalação do subsistema de sprinklers, os documentos e simulações estão dispostos neste Apêndice. Eles representam a materialização dos processos de planejamento e controle.

Apresentamos os seguintes materiais:

a) Memorial Descritivo de Execução do Sistema de Incêndio (Formato PDF): Documento técnico que estabelece a sequência lógica e otimizada das etapas necessárias para a correta execução do subsistema de sprinklers e de Bombas de Incêndio. Este memorial serviu como base para a estruturação das atividades no ambiente 4D. Apresentado na Figura 23 (a).
b) Estudo de Produtividade para Dimensionamento de Mão de Obra (Planilha Eletrônica): Ferramenta utilizada para calcular a produtividade da mão de obra contratada. Através da relação entre os coeficientes presentes nas composições de custos, atrelados à Estrutura Analítica do Projeto (EAP) e aos quantitativos de materiais, foi possível determinar o número ideal de profissionais, visando a otimização dos prazos de entrega dos serviços. Apresentado na Figura 23 (b).
c) Simulação 4D – Cenário 3 (Arquivo MP4): Vídeo que demonstra a integração das informações de planejamento (datas e durações) ao modelo tridimensional do subsistema de sprinklers
d) Vídeo utilizando o software Autodesk Navisworks. Esta simulação 4D representa visualmente o avanço da obra no cenário de otimização, permitindo a identificação de possíveis conflitos e a validação do cronograma proposto. Apresentado na Figura 23 (c).
e) Fluxograma Orientativo de Implementação BIM 4D (Formato PDF): Documento de referência desenvolvido com o objetivo de sistematizar e padronizar o processo de aplicação da ferramenta BIM 4D na vertente executiva da obra, garantindo a replicabilidade e a eficácia da metodologia em um estudo de caso real. Apresentado na Figura 23 (d).

Figura 23: Qr codes de acesso aos materiais técnicos e resultados



(a) (b)

(c) (d)

. *Fonte: Acervo dos autores, 2025 .*