

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CLEDSON ALBUQUERQUE SCOMAZZON

**ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DO BIM 4D NA EXECUÇÃO DE OBRAS PRÉ-
FABRICADAS**

SÃO LEOPOLDO

2021

CLEDSON ALBUQUERQUE SCOMAZZON

ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DO BIM 4D NA EXECUÇÃO DE OBRAS PRÉ-FABRICADAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof.^a. Dr^a Andrea Parisi Kern

SÃO LEOPOLDO

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que apesar das dificuldades sempre me forneceu saúde, força, garra e determinação para correr atrás dos meus objetivos e o bom caminho para superar os obstáculos que se fizeram presente em minha jornada.

Agraço a minha mãe, Jurema, heroína que apesar das dificuldades e limitações sempre me fortaleceu, com sua presença de garra e que sempre esteve ao meu lado para me acalantar nas horas difíceis, de desânimo ou cansaço.

Agradeço também a minha namorada, Elisandra, que vivenciou minha jornada acadêmica, sempre me apoiou e estimulou como profissional e deu todo incentivo e ajuda para conclusão deste trabalho que se apresenta.

A Professora Michele Morales, minha primeira orientadora, por toda dedicação e ajuda, sendo figura primordial para o término deste trabalho.

A minha orientadora, professora Andrea, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Meus agradecimentos aos amigos, chefes e companheiros de trabalho, que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O planejamento de obras é um dos principais aspectos do gerenciamento. Sendo um conjunto de amplas funções na construção civil, envolve fatores como: compras, gestão de pessoas e equipamentos e comunicação. Ao planejar, o gestor dota a obra de uma ferramenta importante para priorizar suas ações, acompanhando os serviços e comparando o executado com o planejado, a fim de que, se algo sair do planejamento base proposto, se tenha tempo hábil para tomar providências cabíveis. A deficiência de planejamento pode trazer diversas consequências negativas para a obra, e por concomitante, para a empresa que a executa, pois, um descuido pode acarretar custos extras e atrasos que coloquem em risco o sucesso do empreendimento. Com a tecnologia BIM, um modelo virtual pode ser gerado computacionalmente, contendo as geometrias e dados relevantes para dar suporte ao projeto e a construção. Quando implementado da maneira correta e utilizado concomitantemente a dimensão 4D, que se refere ao tempo, o BIM facilita o processo, criando um procedimento mais integrado que resulta em construções de melhor qualidade e com custo e prazos reduzidos. O presente trabalho teve por objetivo estudar a aplicação da modelagem BIM 4D no planejamento de uma obra em estrutura pré-fabricada, analisando sua aplicação em comparação ao sistema atualmente empregado. A pesquisa se baseou em um estudo de caso de uma edificação industrial pré-fabricada do tipo Engineer to Order, para a qual foi realizada a modelagem 4D da edificação com o software BIM Autodesk Revit. A simulação e análise do cronograma da obra foram realizadas utilizando o software Autodesk Navisworks. Com a modelagem realizada da situação real, foi feita a comparação com o cenário ideal proposto, visando solucionar problemas de logística, através da elaboração de um cronograma executivo para o empreendimento. Esse cronograma propôs a otimização em questão de dias trabalhados, relativos ao processo de montagem, caso tivesse sido executado.

Palavras-chave: Modelagem. BIM. 4D. Planejamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto 3D do empreendimento	34
Figura 2 - Esquematização da área do empreendimento – Planta baixa	35
Figura 3 - Estrutura da Pesquisa.....	37
Figura 4 - Modelo BIM do empreendimento	40
Figura 5 - Modelo BIM do empreendimento	41
Figura 6 - Elementos pré-moldados modelados no Revit.....	42
Figura 7 - Modelo 4D e gráfico de Gantt do cenário real.....	49
Figura 8 - Canteiro da obra	51
Figura 9 - Falta de Peças	51
Figura 10 - Montagem de placas devido à falta de pilares	52
Figura 11 - Montagem Antecipada Lajes Alveolares	52
Figura 12 - Erro de Geometria de peça.....	53
Figura 13- Montagem Pilares	57
Figura 14 - Montagem Placas Fechamento Laterais.....	57
Figura 15 - Montagem Pilares Centrais e Fundos.....	58
Figura 16 - Montagem Placas Centrais	58
Figura 17 - Montagem Final	59

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Empreendimento na data 18/06	36
Fotografia 2 - Empreendimento.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparações de montagem	55
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação dos softwares utilizados nas pesquisas aderentes e incidência de uso (%).....	31
Quadro 2 - LOD e quantitativos dos modelos detalhados	43
Quadro 3 – Resumo por m ³ da situação real.....	48
Quadro 4 - Principais problemas encontrados na montagem realizada	50
Quadro 5 - Detalhamento do lançamento da estrutura	54
Quadro 6 - Índices de Montagem por Unidades de Peças.....	54
Quadro 7 - Resumo por m ³ do cenário proposto	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	American Institute of Architects
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
COM	Rede de caminho crítico
ETO	Engineer to order
LOD	Level of Development
LPS	Last Planner System
NBR	Normas Brasileiras de Regulação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Tema	12
1.2 Delimitação do Tema	12
1.3 Problema	13
1.4 Objetivos	13
1.4.1 Objetivo Geral	13
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 Justificativa	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Planejamento de Obras da Construção Civil	15
2.1.1 Sistema Last Planner	17
2.1.2 Diagrama de Gantt – Gráfico de Barras	18
2.1.3 Técnicas de Rede, o Método de Caminho Crítico (COM) e a Técnica de Avaliação (PERT)	18
2.1.4. Linhas de Balanço	19
2.2 Modelo de Informação da Construção (BIM)	19
2.2.1 Modelagem Paramétrica e Interoperabilidade	20
2.2.2 Nível de Detalhamento da Informação do Modelo BIM	23
2.2.3 Dimensões do BIM	25
2.2.4 BIM 4D	27
3 METODOLOGIA	33
3.1 Objeto de Estudo	33
3.2 Delineamento da Pesquisa	36
3.2.1 Percepção quanto à utilização do sistema BIM	37
3.2.4 Simulação de cenário ideal de montagem	43
3.2.5 Análise dos resultados com e sem o auxílio BIM no planejamento da montagem da estrutura	44
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	45
4.1 Percepção quanto à utilização do sistema BIM	45
4.2 Processo de montagem da obra adotado pela empresa	48
4.3 Simulação de um Cenário Ideal de montagem a partir do BIM 4D e comparação à montagem realizada	53

4.4	Identificação de benefícios e dificuldades na utilização do sistema BIM 4D	59
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A – DIÁRIO DE OBRAS - CENÁRIO REAL	69
	APÊNDICE B – LINKS PARA OS VÍDEOS DAS SIMULAÇÕES EXPORTADAS DO NAVISWORKS	74
	APÊNDICE C – DIÁRIO DE OBRAS - CENÁRIO IDEAL	75
	APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO	77

1 INTRODUÇÃO

O planejamento de obra tem um papel muito importante no resultado obtido na construção, por isso, conduzir um planejamento de forma errônea pode causar diversos desafios, como o aumento de custos fixos previstos, multas contratuais, dentre outras situações. Esses possíveis acontecimentos podem colocar a margem do investidor em risco. Entretanto, para contornar e solucionar o problema, vêm surgindo diversas alternativas, estas quais aplicadas a métodos, ferramentas, processos e conceitos, que prometem às construtoras ao implementar tais itens, manter-se competitivas (CAMPESTRINI *et al.*, 2015).

Com o decorrer do tempo e evolução das tecnologias empregadas, criou-se uma forte demanda por sistemas que aliem qualidade e agilidade, além de segurança e eficiência. Tal contexto foi fundamental para que algumas empresas optassem por aderir ao movimento de industrialização da construção, através do uso extensivo de elementos pré-fabricados (BIOTTO; FORMOSO; ISATTO, 2015). Este movimento tem avançado, mais recentemente, para o uso de sistemas construtivos industrializados (BONEV; WÖRÖSCH; HVAM, 2015).

Uma grande vantagem deste sistema em relação aos métodos convencionais de se edificar é a entrega rápida de um produto customizado, para atender a necessidade de quem o solicita, como é o modelo dos produtos *engineer-to-order* (ETO), projetados somente após a solicitação de um cliente (GOSLING; NAIM, 2009). Este nível de projeto, que se dá através do detalhamento, impacta diretamente na complexidade do sistema, que inclui os processos de projeto, fabricação e montagem (VIANA, 2015).

Para Lessing (2015), o sistema de pré-fabricados deve ser entendido como um dos elementos da industrialização da construção, que na totalidade, inclui o processo que engloba o planejamento e controle adequados, sendo aliados a um sistema logístico integrado à cadeia de processos construtivos.

Ciente do proposto e devido à necessidade de maior atenção aos processos logísticos da obra, são necessários mecanismos que avaliem corretamente a sequência de montagem, para maximizar os acertos (BATAGLIN *et al.*, 2018).

Uma destas soluções é o modelo de informação da construção, ou Building Information Modeling (BIM), que são processos de automação do uso da informação. Segundo Eastman *et al.* (2008), esses processos englobam, de maneira

geral, desde o ponto de partida até todo o processo de construção, administrando todo planejamento da obra, devendo responder às questões do que será feito, como será executado, quem realizará tal atividade e quando será executado.

Para Kymmel (2008) uma forma de garantir que o planejamento será efetuado da melhor maneira possível, é utilizar-se da modelagem 4D. Essa modelagem, que consiste em uma associação de seu modelo 3D, permite que ocorra a visualização da sequência de montagem, para contribuir para o entendimento do processo logístico por parte dos envolvidos em seu gerenciamento, além de apoiar na tomada de decisões.

A introdução do conceito BIM e da modelagem 4D beneficia o processo de projeto e produção de construções pré-fabricadas, pelo fato de que os modelos não só possuem o formato em 3D, mas podem conter informações relativas à produção, o que favorece a elaboração de planos mais adequados. Além disso, possibilita aos gestores desempenhar papel ativo na avaliação de sequências de montagem das estruturas, inclusive, considerando os componentes temporários da construção como as instalações de canteiro e equipamentos necessários (EASTMAN *et al.*, 2008).

1.1 Tema

O presente trabalho analisou o potencial de utilização da simulação BIM 4D, para o apoio de tomada de decisões às gestões de processos logísticos em uma edificação com sistemas pré-fabricados de concreto armado. Assim, fazendo a comparação do processo de montagem com e sem a utilização da tecnologia em um empreendimento em estrutura pré-fabricada, trazendo uma análise ao se adotar o sistema para o planejamento da obra.

1.2 Delimitação do Tema

Este trabalho é voltado à análise do planejamento logístico de um empreendimento em estrutura pré-fabricada, sendo aqui analisada a estrutura pré-moldada de concreto armado, excluindo-se os demais itens necessários à conclusão da obra. A análise trata-se de um empreendimento de tipologia industrial, construído na cidade de Bento Gonçalves/RS em 2021.

Os dias de clima chuvosos, finais de semana, dias não trabalhados ou ainda, os que impossibilitaram a montagem da obra, foram considerados para simulação dos cenários.

1.3 Problema

Diversas são as técnicas utilizadas de modo a garantir a eficiência em todas as fases que compõem a concepção até a entrega de um empreendimento. Grande parte destas estratégias falham em deixar de prever algum problema ou atividade na produção da obra (CAMERA *et al.*, 2015).

Segundo Bortolini (2015), em maioria, os gestores da obra utilizam-se de desenhos 2D com o auxílio de gráficos de barras ou rede de caminho crítico (COM) para prever a sequência de montagem do empreendimento. Sendo assim, sem a integralização de todos os dados da obra e uma representação visual do canteiro de obras no decorrer do tempo, os planejadores ficam à mercê de sua intuição e experiência para decidir o método e logística adequados para a concepção da obra (WANG *et al.*, 2004).

Desta maneira, cria-se uma lacuna na construção civil à necessidade de um sistema de planejamento e controle de obras que proponha, de maneira mais eficiente, a antecipação destes determinados problemas. Uma destas maneiras é gerar a visualização do empreendimento espacialmente, apontando ao mesmo uma quantidade de informações, tais quais consigam suprimir as lacunas deixadas pelos sistemas convencionais (CAPIOTTI, 2015).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O presente estudo teve por objetivo analisar o processo de montagem de uma obra com estruturas pré-fabricadas, com e sem a utilização de um sistema de gestão, neste caso o Building Information Modeling (BIM), através de suas ferramentas 4D. Então, o estudo procurou apresentar prós e contras obtidos durante o processo de planejamento na logística do canteiro de obras, em comparação a situação real executada.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Analisar a percepção dos operários envolvidos no processo de montagem quanto a utilização do sistema BIM 4D no planejamento das obras;
- b) Através de um estudo de caso, analisar o processo de montagem de uma obra de estruturas pré-fabricadas, realizada sem a utilização de um planejamento formal;
- c) Modelar o projeto estrutural em BIM e simular a execução conforme foi executada;
- d) Criar um planejamento do empreendimento afim de se obter um cenário ideal de montagem;
- e) Comparar o cenário real em relação ao projetado de forma a salientar as possíveis vantagens ou desvantagens em relação a prazos, produtividade e sequenciamento de peças.

1.5 Justificativa

O atraso em obras da construção civil e o retrabalho estão cada vez mais presentes ao longo do tempo. Esse crescimento é devido a diversos imprevistos que ocorrem por falta de planejamento dos executores (CAPIOTTI, 2015). Sendo assim, verifica-se que planejar é muito mais do que prever datas e prazos, mas sim uma tarefa complexa que envolve todos os aspectos da obra. Esses aspectos vão desde a mão de obra necessária no canteiro até os suprimentos que serão utilizados, ou seja, a funcionalidade maior é prever as principais ações recorrentes em obras e incluir no planejamento as ações a serem tomadas, caso o cenário adverso ocorra.

Neste contexto, a utilização do sistema BIM pode reduzir e até eliminar as adversidades, visto que os imprevistos, riscos e problemas serão reduzidos. Melhores decisões são tomadas, contanto que se opte, na etapa de planejamento, pelo uso da tecnologia que proporciona a integração entre o modelo tridimensional de um projeto e o cronograma de atividades. O uso da tecnologia permite que todas as etapas da obra sejam visualizadas e, conseqüentemente, possibilita que o melhor plano de ataque seja traçado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão abordados assuntos relacionados ao histórico de planejamento das obras da construção civil, e ao uso da ferramenta BIM 4D como auxílio a estas ferramentas, para o processo construtivo na totalidade.

2.1 Planejamento de Obras da Construção Civil

A construção civil é um setor particularmente dinâmico e mutável, onde existe uma grande quantidade de variáveis, fatos que tornam o gerenciamento de uma obra algo complexo (MATTOS, 2010).

Para Bernardes (2001) existe diversas tomadas de decisões incoerentes no canteiro de obras, o que gera deficiências no planejamento. Por exemplo, nas obras habitacionais, as quais são executadas sem um planejamento formal realizado por um responsável técnico, se ocasiona a falta de garantia da conclusão da obra no prazo, sem uma ideia de orçamento e o bom cumprimento das técnicas empregadas.

De fato, como descrito, um bom planejamento se faz necessário para reduzir atrasos, aumentar a produtividade e apresentar a melhor sequência de produção, balanceando a necessidade de mão de obra para assim ser possível coordenar múltiplas atividades sem equívocos e erros (BALLARD; HOWELL, 2003).

Vale citar que Ballard e Howell (2003) avaliam que elaborar um planejamento sem considerar a definição dos métodos de produção, estimativas de recursos e a falta de emprego de indicadores de produtividade, além do cálculo da capacidade de produção, levam ao que consideram planejamentos inexecutáveis.

O processo de controle nada mais é do que um monitoramento da produção, onde será comparado o realizado com o previsto, implementando-se as ações necessárias para se atingir o objetivo (COELHO, 2003). Um bom controle, além das funções já citadas, ajudará a aumentar a eficiência em todos os setores, o que agilizará o cronograma da obra e reduzirá os gastos do empreendimento (MUBARACK, 2010).

Tradicionalmente o processo de produção consiste em um aglomerado de atividades de conversão que geram um produto ou subprodutos, através de entradas e saídas. Nesta visão, processos e operações nada mais são que fenômenos

sobrepostos pertencentes a um mesmo eixo de análise, sendo o processo, o fluxo de matérias no tempo e espaço. Já a operação é o trabalho necessário para ser efetivada a transformação do processo (KOSKELA, 1992).

A restrição ou falta de recursos, devido ao planejamento sem precisão das demandas e aparatos necessários para a sequência de atividades na obra, pode implicar em atrasos em sequência, onde um atraso inicial pode comprometer toda a lógica de trabalho, que precisa seguir uma ordem ritmada para o sucesso final. Para exemplificar, é como precisar de 10 caminhões em obra, porém somente 7 estarem disponíveis, faltando 3. Essa falta, se não resolvida de alguma outra maneira, implicará no atraso de uma ou mais atividades, e às vezes esse impacto precisará de um tempo mais longo para ser compensado e resolvido. Portanto, a utilização de planejamentos precisos servirá para impedir que situações, como a citada anteriormente, aconteçam (HALPIN; WOODHEAD, 2017).

Planejamento pode ser definido como um processo de tomada de decisões que tem como objetivo principal antecipar uma ação futura, criando planos eficazes para realizar da melhor maneira. Este procedimento pode ser representado através de duas vertentes básicas: vertical e horizontal, onde na direção vertical se dará o planejamento das etapas pelas quais o empreendimento necessitará seguir até sua conclusão. Já a dimensão horizontal vinculará as etapas citadas com os níveis hierárquicos existentes (LAUFER; TUCKER, 1987).

Segundo Laufer e Tucker (1987), as etapas do processo devem ter planos detalhados e que, após tomada esta decisão, seja feito a parte de compra de recursos e definição de prazos. Isso tudo, se integrado ao sistema de controle, será eficiente ao assistir o gerenciamento do empreendimento, fazendo com que ocorra realmente a coordenação das equipes envolvidas na construção, possibilitando então o controle da obra, permitindo a comparação de cenários e auxiliando o gestor na tomada de decisões (MOURA, 2008).

Existem diversas ferramentas e técnicas de elaboração de planos, tais como o sistema last planner, o diagrama de Gantt, redes de precedência e linhas de balanço, cujo são apresentados a seguir.

2.1.1 Sistema Last Planner

O *Last Planner System* (LPS) busca melhorar a eficiência e funcionalidade do planejamento e controle das construções civis. O objetivo deste sistema é garantir uma estrutura confiável de produção, com a redução da variação constante do fluxo de trabalho. Este sistema de planejamento foi elaborado para atender a demanda e velocidade do empreendimento (ROEHRS, 2012).

Para a construção, que abrange os mais diferenciados ambientes, com um sistema de produção incerto e sem precisão, ter a disposição uma programação que lhes atenda conforme as suas necessidades é um fator interessante. Saber quais são as decisões a serem tomadas e de que forma podemos melhorá-las é um questionamento importante. Por isso, vale salientar a busca pelo que é possível fazer para poder alcançar melhores resultados, a partir do entendimento e cooperação mútua dos indivíduos que farão parte desta nova opção de trabalho (BALLARD, 2000 *apud* MOURA, 2008).

Estas perguntas deram origem à pesquisa denominada Last Planner (BALLARD, 2000), que faz referência indireta ao “último planejador”, ou seja, que planeja as atividades a serem executadas. É considerado, inclusive, a pessoa que faz a transição entre o planejamento e a execução de fato. Portanto, pode-se concluir que o LPS é, também, um sistema onde se tem a possibilidade de gerar melhores comportamentos e cooperação entre as equipes envolvidas (FAUCHIER; ALVES 2013).

O LPS foi desenvolvido para buscar suavizar as variações nos fluxos de trabalho em projetos de construção civil (COSTA, 2017). Segundo Arantes (2010), o LPS é a metodologia que melhor adaptou as teorias da Produção Enxuta (Lean Manufacturing) ao setor da construção civil.

Esta ferramenta busca diminuir o grau de incerteza do planejamento, criando um fluxo de trabalho contínuo e trazendo uma maior estabilidade para a produção. Este sistema tornou-se a ferramenta mais aceita e implementada em empresas da construção por todo o mundo (DAVE *et al.*, 2015).

2.1.2 Diagrama de Gantt – Gráfico de Barras

Esta técnica desenvolvida por Henry L. Gantt em 1917, tornou-se popularmente conhecida por sua facilidade em representar graficamente as atividades em uma escala de tempo. Para esta técnica é traçado um gráfico, onde o projeto deve ser subdividido em número de atividades que possam ser medidas e controladas, sem serem excessivamente complexas. Com o número de atividades em mãos, é proposto a estimativa de duração de cada atividade, onde no gráfico se desenharam as barras que representaram a duração entre o início e o fim. Neste gráfico geralmente são representadas as ligações entre as atividades (MUBARACK, 2010).

2.1.3 Técnicas de Rede, o Método de Caminho Crítico (COM) e a Técnica de Avaliação (PERT)

Nesta técnica, as ligações entre as atividades são representadas geralmente com o auxílio gráfico de setas ou nós. Para elaboração deste plano, são utilizadas duas técnicas de origem diversas. A primeira técnica sendo o COM (Critical Path Method – Método do caminho crítico), sendo esta desenvolvida em 1957 pela E.I. Dupont de Neymours, possuindo caráter determinístico, em síntese, é a menor duração possível para que o projeto seja finalizado completando todas as suas atividades, determinando assim por final sua duração total. A segunda técnica empregada concomitantemente é o PERT (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de Avaliação e Revisão de Programas). Essa técnica, por ocasião, também é desenvolvida pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos e, em relação a primeira, tem caráter probabilístico. Em síntese, esta técnica consiste em descobrir a duração de uma atividade baseando em três estimativas possíveis para o projeto (Otimista, Pessimista e Provável). Com o decorrer dos anos ambas foram unificadas, usando a denominação de PERT/COM (LIMMER, 1997).

O planejamento de rede e de caminho crítico pode ser uma ótima opção, principalmente para projetos com elevada complexidade, onde variadas atividades acontecem em simultâneo, e as sequências de instalação e aquisição exigem mais atenção, principalmente quando o número de atividades excede 200 a 300. Optar

pela atualização de controle garante o melhor andamento e execução e, também, maior precisão (HALPIN; WOODHEAD, 2017).

2.1.4. Linhas de Balanço

A linha de Balanço, também conhecida por diagrama, tempo-caminho ou diagrama espaço-tempo, foi originada para o tipo de obra que envolve serviços repetitivos como estradas, conjuntos habitacionais e edifícios altos. Nestes casos todos possuem como característica um núcleo de atividades que se repetem inúmeras vezes até o término do empreendimento. Justamente por haver estes ciclos repetitivos, os serviços podem ser representados por um gráfico tempo-progresso, onde por uma reta traçada será possível obter o ritmo que a atividade avança através de sua inclinação (MATTOS, 2010).

A linha de balanço resume um grupo de atividades similares em uma linha e, conseqüentemente, condensa em um documento menor muitas atividades comuns. Ela considera que as atividades seguem um fluxo linear e, através dela, é possível que o gestor infira graficamente quando o serviço será executado em cada unidade da obra. Ao contrário do cronograma de barras tradicional, que se fixa na duração das atividades, a LDB representa o ritmo (produtividade do serviço) (MATTOS, 2010).

Mendes (1999) complementa que o planejamento deveria ser efetuado em dois níveis, o primeiro nível de projeto (estratégico), o qual abordaria a duração de projeto, ritmos de produção das unidades que se repetem e fluxo financeiro. Já o segundo nível de processo detalharia as questões da fabricação e produção de cada processo individual, a sequência apropriada dos processos e o ritmo de produção do sistema de processos como um todo.

2.2 Modelo de Informação da Construção (BIM)

O *Building Information Modeling* — BIM é uma das mais promissoras criações da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Com a tecnologia BIM, um modelo virtual do empreendimento é construído digitalmente e preciso. Este modelo, após finalizado, com o auxílio de uma ferramenta computacional, disponibilizará a geometria exata e os dados relevantes necessários para dar

suporte à construção, a fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção. Além disso, é possível ainda incorporar informações necessárias para modelar o ciclo de vida da edificação. O BIM, se implementado corretamente, tem como objetivo principal facilitar o processo de integração do projeto e da construção, resultando em obras civis de melhor qualidade e com custo e prazo de execução reduzidos (EASTMAN *et al.*, 2008).

O BIM não é uma tecnologia nova, embora o termo seja relativamente novo. Soluções similares já foram amplamente usadas e difundidas em diversas indústrias, onde a complexidade logística ou a repetição de um mesmo projeto exigem e viabilizam um maior investimento nos desenvolvimentos dos projetos e especificações (CATELANI, 2017).

Como a maioria dos processos para implementação de uma edificação são fragmentados, erros e omissões acontecem gerando custos imprevistos, atrasos e eventuais litígios judiciais entre os participantes do empreendimento. Alguns destes grandes problemas, que a tecnologia combate, é a inconsistência, imprecisão e incertezas nos projetos que não se comunicam entre si, ou seja, a incompatibilidade. Esses problemas frequentes durante a fase de construção fazem com que modificações no projeto sejam feitas (EASTMAN *et al.*, 2008).

O BIM é aplicável a todo ciclo de vida de um empreendimento, desde a sua concepção, passando pelo desenvolvimento de projeto e a construção, até a obra entregue e ocupada. Portanto, o BIM é abrangente demais, o que dificulta de certo modo seu entendimento, pois diversos modelos podem ser gerados. De maneira geral, o BIM faz a integração das informações, o que gera a possibilidade de diagnosticar rapidamente as necessidades de compatibilidade, materiais, prazos e custos na construção, de modo a garantir assertividade e melhores soluções para a obra, e isso com aumento de produtividade (CATELANI, 2016a).

2.2.1 Modelagem Paramétrica e Interoperabilidade

No BIM os objetos são paramétricos e inteligentes, e isto significa que estes têm informações sobre si próprios e seu relacionamento com outros objetos. O conceito de objetos paramétricos é fundamental para o entendimento do BIM e sua diferenciação dos modelos 2D tradicionais. Estes objetos, para serem considerados de tal forma, devem ser consistentes em definições geométricas e dados das regras

associadas, ou seja, as dimensões não podem ser “falsas”. Os objetos devem ter a habilidade de vincular-se, receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos para outras aplicações e modelos, isso em todos os níveis de segregação adotados. Estes atributos são necessários para fazer a interface com análises, estimativas de custos e outras aplicações (EASTMAN *et al.*, 2008).

Esta modelagem paramétrica oferece, através dos objetos BIM, a possibilidade da alteração das medidas e demais características das suas partes constituintes. Então, costuma-se dizer que por esse motivo estes objetos são ‘inteligentes’, pois além de conterem todas as informações importantes sobre si mesmos, podem conter informações sobre a sua relação com outros objetos e componentes de um modelo. Sendo assim, os softwares BIM trabalham como grandes gerenciadores de bancos de dados. Eles permitem aos seus usuários que visualizem de diversas formas as informações que compõem um modelo BIM, por exemplo, através de imagens tridimensionais que o usuário pode manipular, girar, ampliar, ligar e desligar partes e tipos de componentes (CATELANI, 2017).

É importante citar que existem diversas soluções que conseguem gerar um modelo tridimensional, porém sem a utilização dos já citados objetos paramétricos e inteligentes, fazendo com que as alterações e modificações nos projetos, comuns e previsíveis, se tornem muito trabalhosas. Essas alterações acabam exigindo muitas horas de trabalho do profissional, visto que a qualidade depende exclusivamente da atenção do usuário. Com isso, o projeto acaba se tornando muito mais passivo de erros e inconsistências (CATELANI, 2016a).

Conceitualmente, ferramentas de Modelagem da Informação da Construção (BIM) são modelos paramétricos baseados em objetos, com um conjunto predefinido de famílias e objetos no projeto paramétrico. Em vez de projetar uma instância de um elemento de construção como uma parede ou uma porta, um projetista define uma família de modelos ou uma classe de elementos. Classes de elementos são um conjunto de relações e regras para controlar os parâmetros pelos quais as instâncias dos elementos podem ser geradas, mas cada uma irá variar conforme seu contexto (EASTMAN *et al.*, 2008)

Outro ponto a se atentar no conceito BIM e que o Manual da CBIC deixa claro sobre o seu significado, é quanto a interoperabilidade. A interoperabilidade é a habilidade que dois ou mais sistemas, ou componentes possuem de trocar informações e utilizar as informações trocadas. O Manual da CBIC complementa

ainda que interoperabilidade, no contexto BIM, é a capacidade de um sistema trabalhar concomitante com outros, mas sem a necessidade de esforço especial por parte do usuário, pois este trabalho é resultado do próprio sistema BIM. Esta capacidade torna-se uma qualidade importante, visto que o conceito de que 'a rede é o computador' vai se tornando realidade (CATELANI, 2016b).

A interoperabilidade representa a necessidade de passar dados entre aplicações, permitindo que múltiplos tipos de especialistas e aplicações contribuam para o projeto. É através da interoperabilidade que se elimina a necessidade de replicar a entrada de dados que já foram gerados, facilitando o fluxo mais suave de trabalho. De certo modo, a maior parte de fabricação de sistemas de construção está migrando para a modelagem paramétrica, auxiliada pelo computador e facilita o câmbio de informações (EASTMAN *et al.*, 2008).

Formatos abertos como o IFC e o CIS/2 podem facilitar esta troca de informações. A indústria da construção civil utiliza o IFC, Industry Foundation Classes, para enviar e receber informações importantes. Sua utilização, como um formato neutro de arquivo, facilita a comunicação entre pessoas que atuam na construção civil e no setor de gerenciamentos de ativos. O IFC pode ser considerado como parte da padronização internacional ISO-STEP, e adota uma linguagem de modelagem legível por máquinas. O formato de arquivos é direcionado para objetos em três dimensões, e certificado pela ISO (16739:2013). A intenção é cobrir cada parte do projeto, desde a contratação até a montagem, propiciando a operação e o trabalho colaborativo da plataforma BIM e seus recursos (CATELANI, 2016b).

O Industry Foundation Classes (IFC) foi desenvolvido para criar um conjunto de dados que é facilmente intercambiável entre os softwares de AEC. Este formato de modelo carrega propriedades de objetos, materiais, relações entre objetos e a geometria, essencial para a interface com aplicações de análise e gerenciamento das construções. Somente o IFC e o CIS/2 (para aço) são padrões públicos e internacionalmente reconhecidos atualmente. Assim, o modelo de dados IFC provavelmente se tornará o padrão internacional para intercâmbio de dados e integração, nas indústrias de construção de edificações (EASTMAN *et al.*, 2008).

2.2.2 Nível de Detalhamento da Informação do Modelo BIM

Conforme afirma o Computer Integrated Construction Research Group (2012), o nível de desenvolvimento (LOD) proposto pela AIA (American Institute of Architects) é o padrão mais bem aceito na indústria dos EUA. O documento descreve as dimensões quantitativa e qualitativamente, mencionando também as características mínimas que devem ser incluídas para apoiar um uso autorizado, associado ao nível de detalhe almejado. A estrutura do LOD esclarece e dá entendimento aos participantes para que compreendam a evolução de um elemento, partindo da ideia conceitual até a definição precisa. É esta a estrutura que informa em que nível de desenvolvimento deve estar em uma determinada fase de projeto, o que ajuda a evitar que algum participante utilize o modelo incorretamente, ou seja, não pretendida pelo autor. Sendo assim, é permitido que ocorra a comunicação correta e eficiente das informações entre os que utilizam o modelo (DELATORRE; SANTOS, 2015).

Em um ambiente colaborativo, onde diversos usuários necessitam utilizar informações de modelos gerados por outros autores, é fundamental que se efetue a definição correta dos níveis de confiabilidade dos elementos nas suas várias etapas de desenvolvimento. O LOD permite que o autor especifique e articule com clareza qual é a confiabilidade dos elementos de um modelo, permitindo para os usuários que forem recorrer às informações, compreender com clareza quais os limites da utilização dessas informações que estão recebendo, evitando assim elas serem utilizadas de forma errônea (CATELANI, 2016a).

Segundo o BIM Fórum (2015), as fases de projeto não necessitam estar ligadas somente a um nível de detalhamento. O modelo entregue em uma etapa do projeto pode conter elementos detalhados em diferentes níveis de desenvolvimento, pois o desenvolvimento de diferentes sistemas ocorre em velocidades distintas durante o desenvolvimento do projeto.

É importante também o esclarecimento da diferença entre nível de detalhe (*Level of Detail*) e nível de desenvolvimento (*Level of Development*), conceitos amplamente confundidos, por possuírem a mesma sigla. O conceito de desenvolvimento amplia o inicial do detalhamento, pois ao contrário deste que somente refere-se ao detalhe geométrico e de informação, o de desenvolvimento diz

respeito ao grau de detalhe de informação confiável presente no modelo (CATELANI, 2016a).

As descrições do Nível de Desenvolvimento (LOD), identificam os requisitos do conteúdo mínimo específico e de usos autorizados associados para cada elemento, classificando-os em 5 níveis de abrangência, que devem ser seguidos progressivamente. Então, um elemento só progredirá para um nível seguinte somente quando todos os requisitos de um nível anterior forem atingidos. (AIA, 2013). Estes níveis de abrangência são descritos a seguir:

1. LOD 100: Os elementos do modelo são representados graficamente como um símbolo ou outra representação genérica (AIA, 2013). Um modelo desenvolvido neste nível equivale a um projeto conceitual e é constituído das massas ou dos volumes totais das edificações previstas no empreendimento. Devido ao baixo nível de riqueza das informações, é possível analisar o projeto como um todo de forma geral, fazendo se necessário, um macroplanejamento de tempo e custos gerais (CATELANI, 2017).
2. LOD 200: Os elementos do modelo podem ser representados graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto genérico com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximados. Se necessárias informações não gráficas, podem ser anexadas ao modelo neste nível. (AIA, 2013). Um modelo desenvolvido neste nível pode facilitar a estimativa de custos, se considerado as informações de volumes, quantidades e tipos de elementos. Também na parte de planejamento é possível incluir a ordem de construção dos principais elementos (CATELANI, 2017).
3. LOD 300: Os elementos do modelo podem ser representados graficamente no modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico, com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação. Se necessárias informações não gráficas, podem ser anexadas ao modelo neste nível (AIA, 2013). Um modelo desenvolvido neste nível serve para geração dos documentos tradicionalmente utilizados para contratação de construção de um empreendimento. Nesta situação, as estimativas de custos ficam mais precisas, pois são anexadas em dados específicos, e o planejamento pode

ser feito considerando a ordem de atividades em canteiro, visto a aparência dos sistemas detalhados (CATELANI, 2017).

4. LOD 400: Os elementos do modelo podem ser representados graficamente no modelo como um sistema específico, objeto ou conjunto em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação com detalhamento, fabricação, montagem e informações de instalação. Se necessárias informações não gráficas, podem ser anexadas ao modelo neste nível. (AIA, 2013). Neste nível de desenvolvimento, as estimativas de custos são possíveis com base no custo de venda atualizado dos principais elementos específicos, e o planejamento pode ser realizado considerando métodos e sistemas construtivos (CATELANI, 2017).
5. LOD 500: Os elementos do modelo são representações gráficas verificadas em campo, em termos reais de tamanho, forma e localização, quantidade e orientação. De maneira geral corresponde ao “as built” da obra. (AIA, 2013). Este nível de detalhamento pode ser utilizado como base para realização da gestão da manutenção e operação do empreendimento (CATELANI, 2017).

Uma das dificuldades para implementação do BIM em um projeto é a gestão do nível de desenvolvimento, no que se refere a mensuração e definição da evolução das informações contidas no modelo, visto que diferentes etapas necessitam de diferentes níveis de desenvolvimento, surgindo dificuldades no entendimento e aplicação por parte dos usuários (DELATORRE; SANTOS, 2015).

2.2.3 Dimensões do BIM

O Building Information Modeling (BIM) apresenta grandes oportunidades e desafios para a construção, visto que à medida que os processos evoluem e se tornam cada vez mais automatizados, os profissionais precisarão se adaptar adequadamente para fornecer serviços mais sofisticados, que incorporem além dos modelos tridimensionais, outras dimensões como a 4D (tempo), 5D (custos), 6D (operação), 7D (sustentabilidade) e 8D (segurança) (SMITH, 2014).

Abaixo segue uma breve explicação sobre os diversos subconjuntos do BIM, comumente descritos em termos de dimensões de aplicação:

1. BIM 3D: O modelo 3D permite a melhor leitura do projeto, pois possui todas as especificações e definições geométricas, o que facilita a comunicação da intenção do projeto. Ainda permite aos usuários a extração de pontos de vista e informações de volumetria segundo a necessidade, promovendo a redução de retrabalhos por falta de entendimento (OLIVEIRA, 2018).
2. BIM 4D: Esta dimensão introduz atributos de tempo ao modelo, permitindo o uso para além da modelagem, mas também ao tempo, atribuindo ao projeto a capacidade de simular diferentes etapas da construção antes do início dela, dando ao gestor a capacidade de analisar o melhor setor possível para bom andamento do empreendimento (MOTTER; CAMPELO, 2014).
3. BIM 5D: Este modelo integra todas as informações do 4D, com dados de custo, como quantidades, horários e preços. Isso permite a geração instantânea de orçamentos de custos e representações financeiras, associadas ao tempo. O tempo destinado a parte de orçamentação de semanas é reduzido para minutos, melhorando assim a estimativa de informações e minimizando os incidentes de ambiguidades no modelo CAD. Este modelo permite aos consultores que maximizem o seu tempo na busca de redução dos custos (SMITH, 2014).
4. BIM 6D: A modelagem 6D permite a seus usuários estender a utilização para o gerenciamento das instalações. O Modelo BIM, se elaborado da maneira correta, contém um rico arsenal de informações e descrições dos elementos da construção e de serviços de engenharia de um todo do empreendimento. Isto fundamenta seu uso como um banco de dados de gerenciamento das instalações da edificação. (SMITH, 2014). Este modelo é propício no relacionamento entre contratante e fornecedor, facilitando a manutenção a atendendo a NBR 15.575 (BOMFIM; LISBOA; MATOS, 2016).
5. BIM 7D: A incorporação de componentes de sustentabilidade ao modelo BIM gera modelos 7D, e estes por sua vez permitem aos projetistas atender exigências específicas de projeto, comparando conformidades e validando distintas opções de estimativas de energia e outros sistemas. (SMITH, 2014). Nesta dimensão, é possível fazer a

análise do consumo da edificação, fornecendo estimativas de custos deste item, permitindo ao gestor da obra simular sistemas alternativos e sustentáveis, numa linha Green Building (BONENBERG; WEI, 2015).

6. BIM 8D: A oitava dimensão do BIM engloba aspectos da segurança ao modelo, permitindo ao mesmo oferecer informações suficientes para que se possa identificar diversos problemas relacionados à segurança antecipadamente, ou seja, prevenindo possíveis riscos no processo construtivo e operacional (SMITH, 2014).

Em resumo, o BIM permite aos projetistas e usuários dos diversos modelos prever com facilidade o desempenho dos projetos antes de serem construídos, respondendo as alterações de projeto com maior agilidade, otimizando projetos com análises e simulações de alta qualidade de informações (SMITH, 2014).

2.2.4 BIM 4D

Esta quarta dimensão do BIM tem como objetivo retratar o ciclo de vida de uma edificação, separando o modelo criado por fases de execução, proporcionando detectar conflitos no processo construtivo e ainda conceber uma melhor compreensão do planejamento aos vários gestores de projeto. Resumidamente, os modelos BIM 4D conseguem conectar os aspectos espaciais e temporais do projeto, melhorando a confiabilidade dos cronogramas e minimizando problemas de comunicação (MARTINS; MONTEIRO, 2011).

O BIM permite que planejadores criem, revisem e alterem modelos 4D com mais frequência, o que leva a implementação de cronogramas mais confiáveis e com maior nível de detalhamento (EASTMAN *et al.*, 2008).

No planejamento utilizando a quarta dimensão do BIM, é possível unir os modelos BIM do empreendimento ao planejamento da obra. Neste planejamento, cada objeto como paredes, pilares, vigas dentre outros terão atributos de atividades a serem realizadas no cronograma com uma data de início e fim, estipuladas pelo planejador da obra. Ao término deste planejamento, com o auxílio de ferramentas computacionais, o gestor pode acompanhar em tempo o andamento dos processos através de uma animação que permite realizar diversas análises que são difíceis de

efetuar utilizando métodos tradicionais, fornecendo respaldo para possíveis correções ainda na fase de planejamento (MAGALHÃES, 2017).

O BIM uma vez integrado ao planejamento, gera controles mais assertivos para os prazos estipulados para execução, pois permite ter um entendimento mais amplo do andamento dos processos através de uma visualização virtual, o que facilita a gestão de recursos do cronograma. A precisão gerada do modelo advém da maior confiabilidade das informações fornecidas do modelo, que previamente antes de executada em canteiro foram estudadas através de cenários ideias, criados em ambiente virtual. Essa ferramenta proporciona aos profissionais um conhecimento amplo das nuances de planejamento (CHAVES, 2019).

Eastman *et al.* (2008) cita que as simulações em 4D atuam como ferramentas de comunicação, onde auxiliam na visualização dos prazos necessários nas construções. Com esse método, criam-se cronogramas da quantidade de tempo necessário para exercer a atividade programada, o que facilita a colaboração e melhora o andamento de todas as atividades no canteiro de obras. Os construtores contam com a possibilidade de revisar as simulações em 4D, realizando as conferências necessárias e certificando-se de que o planejamento efetuado será executado. Além disso, as simulações em 4D garantem a conferência de forma viável, dentro do que foi estipulado e com eficiência.

Os benefícios dos modelos 4D são, segundo Eastman *et al.* (2008):

- Comunicação: os gestores conseguem comunicar, para as pessoas interessadas na obra em construção, como está o andamento do processo construtivo planejado, e isso de forma visual. O modelo 4D consegue registrar aspectos de tempo e espaço de um cronograma, comunicando os seus resultados de forma muito efetiva e destacando-se quando comparado ao modelo de diagrama Gantt tradicional.

- Contribuição de múltiplas partes interessadas: os modelos 4D podem ser utilizados, também, de forma interativa, onde são apresentados para uma comunidade leiga entender de qual maneira o empreendimento poderia interferir no seu dia a dia. Por exemplo: qual interferência causaria no acesso a hospitais, no acesso aos estabelecimentos comerciais, nos horários de maior trânsito e fluxo de pessoas e demais preocupações pertinentes que possam surgir.

- Logística do canteiro: os gestores conseguem administrar as áreas de estocagem de materiais, os acessos ao canteiro de obras, a disposição de equipamentos de grande porte, containers e demais itens necessários.

- Coordenação de disciplinas: os gestores conseguem coordenar o trabalho em espaços pequenos, em espaços grandes, e verificar o andamento do fluxo planejado de tempo e espaço de todas as atividades exercidas no canteiro de obras.

- Comparação de cronogramas e acompanhamento do progresso da construção: os gerentes e gestores conseguem acompanhar e comparar diferentes programações de planejamentos do empreendimento, isso de forma fácil e visual. Assim, consegue-se identificar se o projeto em questão está em dia ou atrasado, de acordo com o cronograma pré-estabelecido.

Sendo assim, atualmente o BIM 4D tem sido amplamente utilizado por engenheiros, arquitetos e projetistas de obras para a análise e visualização de projetos como apoio a decisões de cronograma e viabilidade dos empreendimentos. Estas simulações 4D, que em suma são filmes ou simulações virtuais do cronograma da construção, visam garantir a viabilidade e eficiência do planejamento. Para tal, é importante a necessidade de trabalhar-se concomitantemente com softwares destinados a este modelo. (POÇAS, 2015).

A seguir, lista-se os principais softwares utilizados na criação e modelagem do BIM 4D (EASTMAN *et al.*, 2008):

1. Autodesk Revit Architecture e Structure: O Revit é um software de BIM que traz todas as disciplinas de arquitetura, engenharia e construção para um ambiente de modelagem unificado, gerando projetos mais eficientes e econômicos. As equipes de projeto podem trabalhar juntas a qualquer momento e em qualquer lugar usando o Revit com o BIM Collaborate Pro, uma solução de colaboração e gerenciamento de dados potente e segura baseada na nuvem. (AUTODESK).
2. Bentley Architecture: Conjunto de softwares que incluem diversas soluções baseadas em modelagem e simulação para entrega de projetos relacionadas a construção civil. (BENTLEY).
3. Graphisoft ArchiCAD: Software voltado para o âmbito arquitetônico baseado na modelagem BIM, permitindo ao usuário criar modelos virtuais tridimensionais da construção que geram desenhos

automáticos de plantas e cortes, a partir da leitura bidimensional do modelo. (GRAPHISOFT).

Para utilização da dimensão tempo, existem no mercado diversas opções de softwares para BIM 4D, cujo mais populares são o Navisworks da Autodesk e o Vico Office da Trimble.

- **Autodesk Navisworks**

O Autodesk Navisworks é um software direcionado à gestão e simulação logística da obra, de modo a auxiliar os profissionais da AEC. Esse programa possui ferramentas que abrangem desde a coordenação até a simulação da construção de um projeto analisado, de maneira que permita ao gestor realizar todo planejamento do empreendimento (ALVES, 2012).

Os recursos disponibilizados pelo software permitem com que o usuário gere tabelas, custos e a animação dos processos sequenciais da obra, auxiliando o gestor na previsibilidade do cronograma proposto, prevendo problemas ou inconsistências antes da construção, reduzindo custos com retrabalhos (QUATTRO D, 2015).

O software faz a integração do projeto permitindo melhorar a coordenação, através de simulações da construção e análise de todo projeto para revisão do planejamento (AUTODESK, 2021). Ainda segundo a Autodesk (2021), o software disponibiliza recursos como:

- Simulações e animações do modelo, através de script que permite verificar o sequenciamento das atividades;
- Interação com outros formatos de arquivos em um único modelo;
- Navegação em tempo real dentro do projeto conforme projetado;
- Comparação com o planejamento real versus projetado.

- **Trimble Vico Office**

O software VICO, abreviação de Virtual Construction é um programa voltado a integrar tempo e custo dentro do universo BIM, oferecendo soluções inovadoras para visualizar, analisar e otimizar projetos de construção de forma integrada. O software tem como objetivo reduzir riscos, gerenciar custos e otimizar o tempo,

atendendo as solicitações de projetos de alta complexidade (VICO SOFTWARE, 2021).

Através de ampla pesquisa, Crippa (2019) faz a relação dos softwares mais utilizados para a viabilização do planejamento de obras, cujo são apresentados no quadro 1:

Quadro 1 - Relação dos softwares utilizados nas pesquisas aderentes e incidência de uso (%)

Atividade	Software	% uso
MODELAGEM 3D	REVIT	50
	ARCHICAD	17
	MD CAD	11
	AUTOCAD 3D	11
	VPA (virtual prototype analysis)	6
	NAVISWORKS	62,5
	SIMPHONY	6,25
	VISPMIS	6,25
	4D-GCPSU	6,25
	STROBOSCOPE	6,25
	SITESIM-EDITOR	6,25
	SIMULATION TOOLKIT SHIPBUILDING	6,25
	PLANEJAMENTO	MSPROJECT
EXCEL		25
ALGORÍTMOS GENÉTICOS		10
ASTA POWER PROJECT		5
CONTROLE	BIM 360	20
	ICONSTRUCT	20
	CONBIM	20
	4D-GCPSU	20
	SIEMENS PLM	20

Fonte: (SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019).

A simulação dinâmica da construção e a integração da comunicação provenientes da tecnologia BIM 4D, resultam na otimização do processo construtivo, trazendo soluções para grande parte dos problemas inerentes ao método comum. Além disso, contribui significativamente para a redução dos trabalhos manuais por meio da interoperabilidade e integração de sistemas de comunicação (SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho teve como objetivo analisar a utilização da dimensão 4D do BIM no planejamento de montagem de uma obra pré-moldada de tipologia industrial *Engineer to Order*, focando no controle logístico da mesma. Através do estudo de caso, foi desenvolvida uma pesquisa com os envolvidos no processo sobre a percepção dos principais pontos críticos de execução do empreendimento. Foi criado também o diário de obras, desenvolvido em um modelo BIM e modelado pelo autor. Para apresentar o melhor cenário sequencial de montagem comparado ao resultado da obra executada sem o uso do sistema BIM, isso para enumerar os principais aspectos sobre sua utilização.

No cenário atual, onde a competição entre empresas tem crescido tanto no âmbito nacional como internacional, a busca pela melhor eficiência em seus processos e operações tem sido motivo de pressões constantes. Nesse contexto, criou-se a necessidade de os gestores explorarem e importarem novos sistemas, que consigam oferecer resultados satisfatórios em todos os pontos, seja eles custo, qualidade, tempo ou inovação (ANTUNES *et al.*, 2008).

Segundo Vergara (2009), o estudo de caso é utilizado, porque através dele pode se conhecer mais detalhadamente o objeto estudado, como será demonstrado passo a passo neste trabalho.

3.1 Objeto de Estudo

O empreendimento em estudo é uma obra comercial para locação localizada na cidade de Bento Gonçalves/RS. A edificação possui dois pavimentos, contando ainda com mezanino e espaço reservado para reservatórios na cobertura conforme figura 1. Com área a ser construída de 584 m², que se divide em subsolo e térreo, ambos contando com 238 m² e mezanino com 108 m², a obra teve como prazo de entrega o mês de outubro de 2021, sendo sua negociação efetuada ainda em maio deste mesmo ano. O presente estudo focou na pós-produção de peças pré-fabricadas, com ênfase quanto ao sequenciamento ideal de montagem delas, cujos processos foram iniciados no mês de setembro e finalizados no mês de outubro desde presente ano.

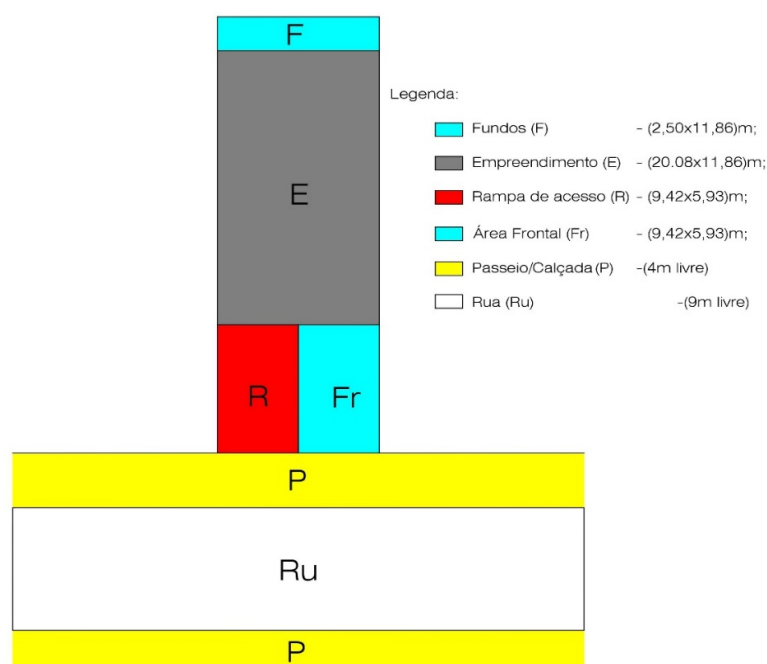
O autor desta pesquisa participou integralmente do processo, pois atua como projetista na empresa que executou e montou as peças pré-moldadas, sendo auxiliado pelos projetos executivos assim como a montagem de fato.

Figura 1 - Projeto 3D do empreendimento



Fonte: Fornecido pela empresa A.

Figura 2 - Esquemática da área do empreendimento – Planta baixa



Fonte: Elaborada pelo autor.

A estrutura da edificação é pré-fabricada em concreto armado com Resistência Característica à Compressão de 30Mpa. A obra possui em seu contexto: pilares, vigas, lajes alveolares, escadas e placas de fechamento pré-moldadas, cujo, quantitativos são apresentados no item da modelagem BIM.

A obra possuiu delimitação de área, não tendo espaço útil para estocagem de peças, conforme pode ser constatado na figura 2 que esquematiza a área do empreendimento e verificado na fotografia 1. Isso acabou acarretando diversos desafios para a equipe de montagem, que não contava com um planejamento eficaz e tinha ainda, como agravante, a falta de espaço no canteiro de obras. Para tal, a obra foi escolhida para estudo de caso deste trabalho, de modo a procurar demonstrar como o sistema BIM 4D poderia ter sido utilizado para sanar os problemas encontrados.

Fotografia 1 - Empreendimento na data 18/06



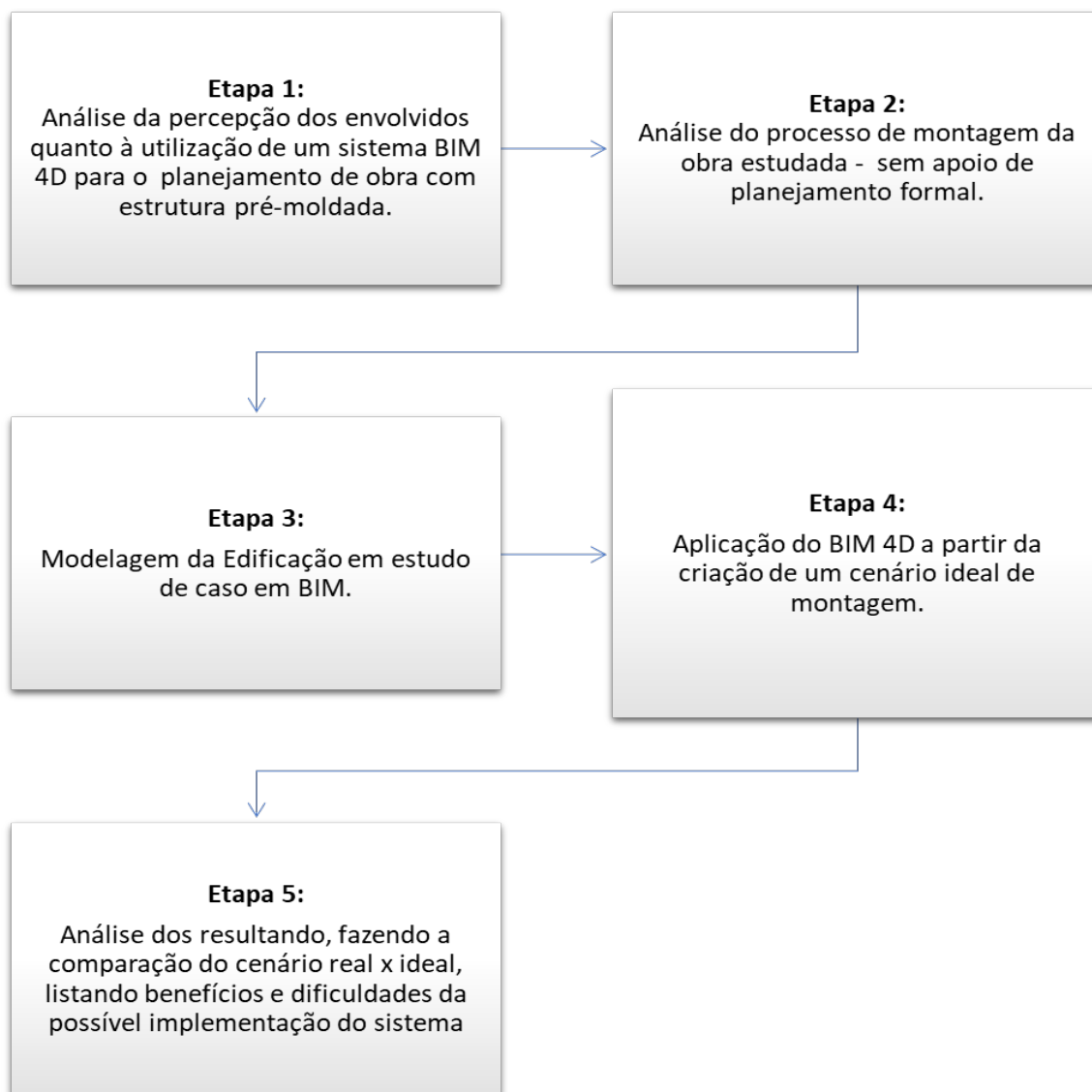
Fonte: Registrada pelo autor.

É interessante frisar que foi a primeira vez que a empresa executora da estrutura fabricou pilares pré-moldados a serem montados sobre vigas de transição, assim como a escada pré-moldada, cuja forma foi recentemente adquirida. As lajes alveolares foram terceirizadas a uma empresa de Santa Catarina e sua entrega foi previamente agendada. Todo o contexto, se analisado, foi ideal para a utilização do BIM, visto as dificuldades transpostas durante todo o processo, como a área pequena do terreno e as delimitações de montagem.

3.2 Delineamento da Pesquisa

O trabalho teve como área de estudo cinco etapas de pesquisa, demonstradas no fluxograma da Figura 3.

Figura 3 - Estrutura da Pesquisa



Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.1 Percepção quanto à utilização do sistema BIM

A primeira etapa deste trabalho consistiu na criação de um questionário, destinado somente aos envolvidos diretamente no processo de montagem da empresa A, sendo entrevistado ao todo 10 funcionários com cargos variados (montadores, auxiliares de montagem, operadores de Munck e motoristas que transportam as peças para a obra). Este questionário teve como foco a percepção

dos mesmos quanto à utilização do sistema de planejamento BIM 4D. A pesquisa também teve enfoque para identificação dos pontos críticos relevantes para a montagem da estrutura, que causaram possivelmente atrasos e perdas no processo de lançamento das peças.

O questionário foi elaborado visando analisar qualitativamente as respostas, permitindo julgar e analisar onde o trabalho está deficiente. As questões foram previamente pensadas, utilizando o conhecimento e experiência adquiridos pelo autor. Como resultado, a formulação da pesquisa foi elaborada com maior precisão e proximidade com a realidade.

Vale salientar que, na elaboração do questionário, houve a preocupação e cuidado em trazer questões pertinentes, objetivadas nos desafios de maior impacto nas obras civis. Neste mesmo âmbito, foram feitas perguntas no nicho que engloba o sistema BIM, procurando “visualizar de cima” um pouco de cada parte que compõe o todo. Ao ter uma visão maximizada das diversas áreas que o BIM atinge, seja na intensidade que for, foi possível elaborar questões variadas, para poder recolher, ao final, informações que conseguissem apresentar resultados dentro deste nicho, mas com maior abrangência do que se fosse centralizado somente em um tema específico.

As questões elaboradas são listadas a seguir, estando a pesquisa completa localizada no Apêndice D deste trabalho.:

1. Qual a maior dificuldade enfrentada hoje, no canteiro de obras?
2. Se fosse disponibilizado um cronograma detalhado, especificando o processo de montagem passo a passo, em sua opinião, geraria ganho para a questão de produtividade (como economia de tempo)?
3. Considere o seguinte cenário: no início de uma obra, você terá acesso a um vídeo que mostra, do início ao fim, o andamento da execução, cronogramas e prazos. Com este vídeo, você terá a chance de entender melhor como deverá ser a execução da obra e esclarecer possíveis dúvidas. Em sua opinião, ver como será o andamento construtivo antes da obra acontecer, é:
4. Se você tivesse um layout pronto, que exemplificasse os locais determinados para alocação dos materiais em obra antes de sua execução, para, quando a obra começar, tudo já ter seu espaço definido, você consideraria:
5. Você acredita que utilizar mais tecnologia nas obras facilita o andamento e agilidade da construção?

6. Na sua opinião, qual das alternativas abaixo mais reduziria o custo x tempo em uma obra?
7. Com o software BIM, podemos solicitar a empresa responsável o envio das peças para montagem de acordo com a ordem necessária no canteiro de obras. Assim, as peças irão chegando conforme a etapa de montagem para aquele dia. Sendo possível ser desta maneira, você consideraria:
8. Na sua opinião, o que mais atrapalha o andamento de uma obra hoje é:
9. Sabendo que o software BIM tem o objetivo de fazer o gerenciamento e programação de uma obra, você considera:
10. Cite outros fatores que você considera importantes para um bom andamento da obra, visando reduzir o tempo e facilitando a execução.

As questões de múltipla escolha continham 3 (três) possibilidades de resposta, sendo que cada indivíduo assinalou àquela que julgou mais pertinente, de acordo com seu entendimento.

3.2.2 Análise do processo de montagem realizado na execução da obra estudada.

Com a análise do diário de obras disponibilizado pela empresa A, e listado no apêndice A e com o conhecimento prático e teórico adquiridos pelo autor, foi possível fazer a análise de erros e acertos durante o processo de montagem, que se sucedeu do empreendimento em questão. Foi efetuada também a coleta de dados de produtividade de montagem do estudo de caso, criando o modelo virtual do cenário executado, utilizado para verificar os erros construtivos presentes na obra. Esta análise, com o conhecimento adquirido pelo autor, resultou na criação de uma planilha com informações relativas à montagem de peças, tais como quantas peças de cada modelo a equipe de montagem tem conseguido montar (incluindo vigas, pilares, lajes e placas) auxiliando na criação do cenário ideal, visando criar uma sequência lógica e real de execução dessas estruturas.

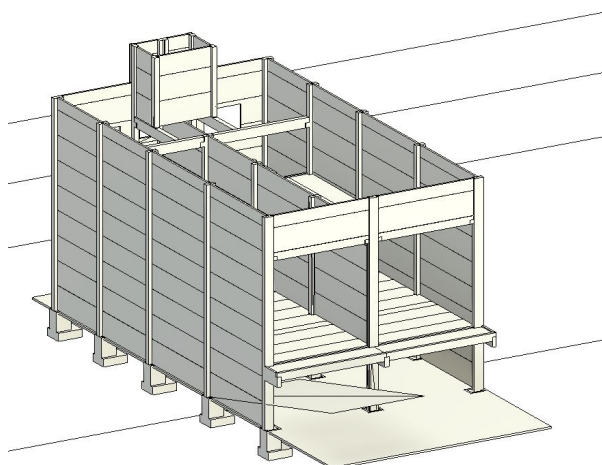
Com o mapeamento houve a possibilidade, posteriormente, de fazer uma relação entre o software de planejamento 4D com datas e prazos de cada elemento a ser modelado, de modo a se obter o cenário ideal com o maior nível de realidade possível. Desta forma, a planilha pôde servir de comparação com a obra executada, visando analisar a utilização do sistema BIM.

3.2.3 Modelagem BIM do projeto arquitetônico e estrutural

Esta etapa consistiu na modelagem da estrutura pré-moldada da obra integralmente, a fim de gerar um modelo BIM de todas as peças pré-moldadas existentes no empreendimento. Com isso, pode se obter de maneira completa todos os processos de montagem, como as delimitações e dificuldades encontradas durante o processo. Também foram modelados os elementos de fundação, por serem de uma atividade predecessora a atividade principal de pesquisa, o que facilitará o entendimento aos envolvidos no processo. A modelagem dos elementos foi desenvolvida no software Autodesk Revit 2022 (versão educacional), conforme ilustrado nas figuras 4 e 5.

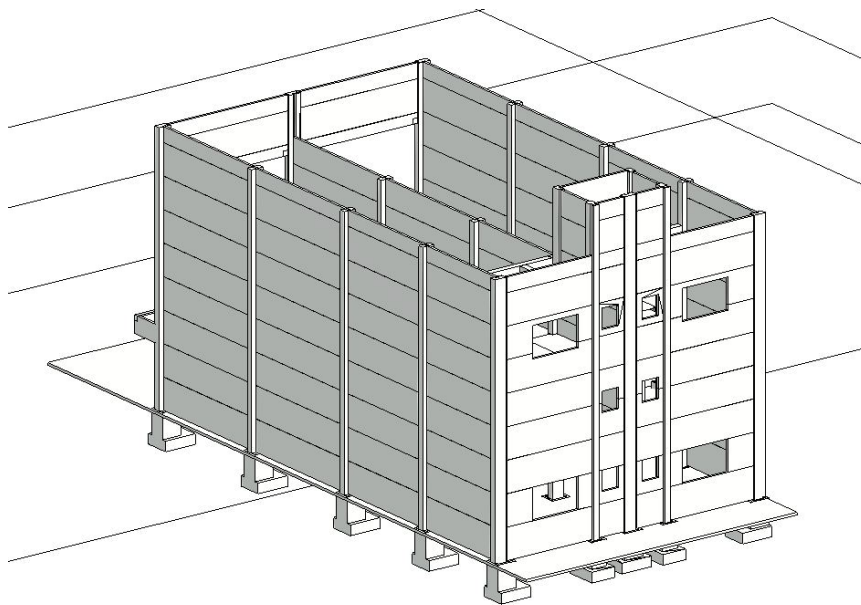
Para servir de comparação, segue abaixo a fotografia 2, que evidencia a realidade da obra.

Figura 4 - Modelo BIM do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Modelo BIM do empreendimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

Fotografia 2 - Empreendimento



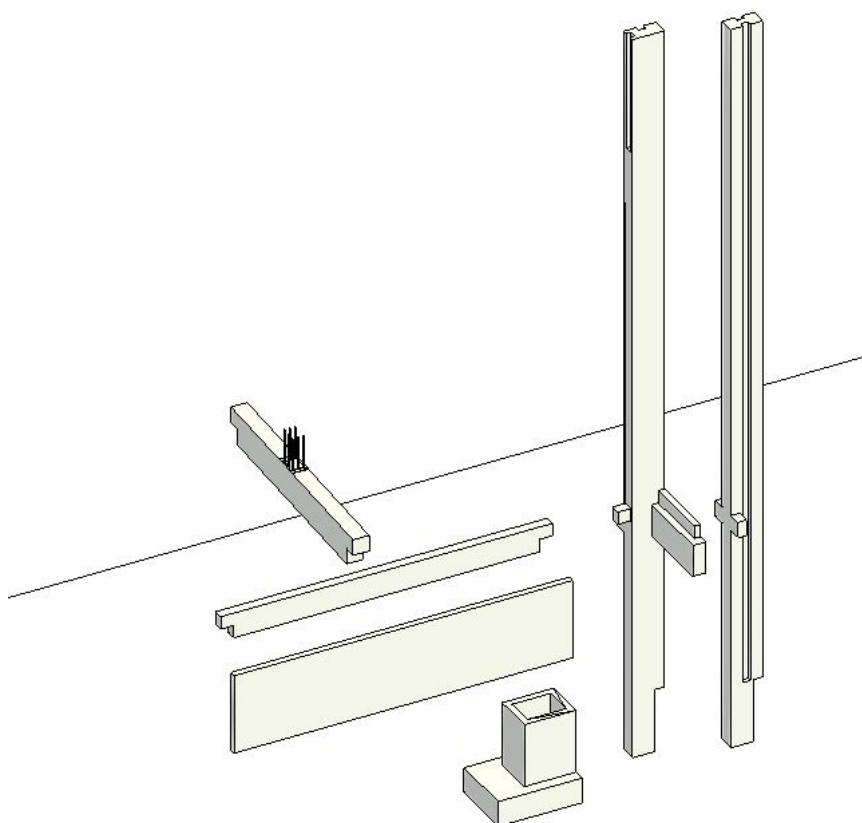
Fonte: Registrada laborado pelo autor (2021).

A modelagem BIM foi realizada através da análise de desenhos de fabricação, elaborados levando como base o projeto estrutural disponível em 2D.

Como cada elemento possui sua própria particularidade, com geometrias que diferem muito entre si, foi necessária a análise individual destas peças através do projeto estrutural individual.

A modelagem teve como objetivo seguir a identificação conforme projeto estrutural e de formas e montagem, de modo a facilitar a identificação de cada peça posteriormente. O detalhamento de cada peça pré-fabricada foi feito tridimensionalmente e paramétrica, usando o LOD 300, que se caracteriza por apresentar dimensões geométricas precisas dos elementos, sendo algo de suma importância para bom entendimento deste trabalho. A figura 6 ilustra exemplos de modelos detalhados.

Figura 6 - Elementos pré-moldados modelados no Revit



Fonte: Elaborado pelo autor

As fundações, que não são objeto de estudo direto deste trabalho, foram modeladas em LOD 200, visto que foram moldadas e executadas in loco, e acabaram não precisando, necessariamente, de sequência lógica de montagem, pois foram

concretadas com o auxílio de bomba lança disposta na rua, em frente ao empreendimento, não interferindo na sequência lógica de concretagem.

As divisas da obra foram representadas em LOD 100, pois não representam informações relevantes para o trabalho, somente servindo de delimitação do lote para compreensão do cenário da obra.

O quadro 2 descreve os elementos modelados em BIM, suas quantidades e respectivos LOD's.

Quadro 2 - LOD e quantitativos dos modelos detalhados

Elemento Modelado	Quantidade	LOD
Fundações (executadas in loco)	17	200
Pilares Pré-Moldados	23	300
Vigas Pré-Moldadas	40	300
Placas de Fechamento	147	300
Lajes Alveolares	60	300
Cortinas Pré-Moldadas	3	300
Terreno e Rampa de Acesso	2	200
Total de Peças	292	

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Simulação de cenário ideal de montagem

Através da utilização do software Navisworks, juntamente com o modelo BIM criado, foi modelada a simulação 4D, inicialmente com o sequenciamento de tarefas conforme executado em diário de obras, de modo a auxiliar a encontrar pontos críticos para planejar um cenário ideal de montagem, através de simulações. O cenário ideal proposto de montagem trouxe a melhor otimização dos processos, buscando a melhor sequência logística e resolvendo os problemas relatados pela coleta de informações, que se deu no processo de identificação dos dados críticos. Estes dados foram levantados e obtidos, também, através da comparação com o

diário de obras existente, listado no apêndice A. Este planejamento foi baseado nos dados de produtividade levantados anteriormente pelo autor.

3.2.5 Análise dos resultados com e sem o auxílio BIM no planejamento da montagem da estrutura

Com o desenvolvimento deste trabalho, após a criação do modelo 4D, foi efetuada a análise pelo autor quanto à implementação do sistema BIM 4D no processo, listando os "prós" e contras da utilização deste planejamento em relação ao planejamento utilizado no estudo de caso.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Percepção quanto à utilização do sistema BIM

Das respostas obtidas com a realização do questionário, que foi aplicado para 10 pessoas, foi possível afirmar que a percepção dos envolvidos é que, com o sistema BIM, é possível gerar um sequenciamento de montagem de peças, que pode ser repassado para a empresa executora. Dessa maneira, para a empresa que executa, as peças já sairiam de fábrica em direção à obra com cargas já programadas e com sequenciamento de peças definido, evitando assim desperdício de tempo e agilizando a obra.

Complementa-se ainda que, para a maioria das pessoas entrevistadas, não possuir um planejamento definido ocasiona decidir no andamento da obra pontos primordiais, tais como onde alocar materiais e qual a melhor estratégia para dispor os mesmos no canteiro, gerando atrasos. Desta forma, para os envolvidos, disponibilizar um cronograma de modo a exemplificar o passo a passo construtivo, facilitaria e agilizaria o andamento da obra.

É interessante frisar que, para 33% dos entrevistados, mesmo utilizando o sistema BIM e tendo à disposição um cronograma detalhado de montagem, talvez não houvesse ganho de tempo. Algumas questões podem ser levantadas, de forma hipotética, diante desta alternativa.

A primeira refere-se à questão do tempo de adaptação a um novo sistema: qualquer novo meio de trabalho que, há pouco inserido na rotina de atividades, necessitará de tempo de adaptação, testes e fase de ajustes.

A segunda questão, as pessoas que vivem a adaptação: se, pelos motivos que forem para cada indivíduo, as pessoas não estiverem dispostas a adaptar sua forma de trabalho, e/ou serem parceiras em se adaptar e inovar em uma nova forma de execução de tarefas, por vezes, mesmo contando com um sistema útil de trabalho, acaba-se não tendo o resultado esperado.

A terceira questão, o fato de o sistema BIM ser relativamente novo para a realidade dos envolvidos: a utilização do sistema BIM pode, por vezes, gerar questionamentos a respeito de suas habilidades, podendo gerar dúvidas se sua implementação seria realmente viável e satisfatória. Muitas vezes, o novo gera

rejeição pelas pessoas. Neste caso, esta rejeição acaba somente sendo diminuída e eliminada conforme se for percebendo e entendendo, particularmente, que mesmo sendo novo, o sistema vem para acrescentar, facilitar e gerar mais produtividade para o canteiro de obras.

Conclui-se ainda que, para a equipe de montagem, ter um vídeo que demonstre o andamento de uma construção pode facilitar a compreensão para a execução da obra conforme previsto em projeto. Salienta-se que o vídeo nunca substituirá a importância de projetos detalhados e desenvolvidos para a execução, mas sim virá para somar a parte de entendimento da obra em questão, o que é justamente a proposta de um sistema BIM.

É interessante ainda frisar que, para eles, a organização é uma das partes mais importantes para o bom funcionamento da obra, cuja qual exige maior atenção e raciocínio no início para procurar deixar tudo operando normas, medidas cabíveis e estratégias de execução. O tempo despendido para elaboração de um layout organizado e funcional para os envolvidos é recuperado posteriormente, pois os desafios em logística de execução serão sanados, ou, se existirem, serão menos impactantes do que se o layout não fosse disponibilizado. A pré-organização do layout do canteiro para alocação dos materiais garante melhor andamento da obra civil, menos hipóteses de erros e mais eficácia construtiva.

Com isso, é pertinente dizer que é preferível iniciar a obra já sabendo onde irão ser depositados todos os elementos necessários para a construção ao invés de, no dia do início dela, precisar decidir rapidamente onde alocar estes materiais.

Do total de pessoas questionadas, 83% responderam que utilizar mais tecnologias facilita a construção. Com isso, não se destaca somente a questão de facilidade, mas sim todas as possibilidades que a tecnologia trouxe para a construção civil.

O sistema BIM por si só é um somatório de tecnologias, onde pode realizar um trabalho colaborativo entre variados profissionais, de variadas áreas de atuação, isso no momento de projetar, construir em canteiro de obras e fazer a coordenação do andamento da obra em questão, seja de uma edificação, de uma instalação, ou demais atividades exercidas. Por isso, nota-se como a construção civil, atrelada às novas tecnologias, vem crescendo tanto. Atualizações estão sendo feitas, sistemas de trabalho estão sendo aperfeiçoados e uma nova era está surgindo.

A tecnologia está ao dispor das pessoas para facilitar seu trabalho e o tornar mais preciso, com menos oportunidades de erros e maior assertividade, trazendo assim resultados cada vez mais satisfatórios.

Ao analisar as questões apresentadas, é importante perceber que todas possuem seu grau de importância para uma obra bem-sucedida. A combinação de um sequenciamento de montagem disponibilizado, com um cronograma que detalha todo passo a passo construtivo e um layout para organização estratégica do canteiro de obras são cenários ideais para uma construção eficiente para os montadores.

Com isso, conclui-se que sabendo dos benefícios da utilização de um sistema de planejamento BIM para os envolvidos, enviar um cronograma para a empresa executora, solicitando receber as peças por ordem de montagem para aquele dia, impacta positivamente para o dia de trabalho deles, e assim pode ser feito sucessivamente até a conclusão da construção, sendo uma estratégia de logística importante para o sucesso da obra.

Para a conclusão de uma obra no prazo, considerando o fator custo x tempo x qualidade, é necessária organização e planejamento. O Planejamento e Controle de Obras (PCO) deve ser criado para gerar resultados de impactos positivos, precisos, eficientes e práticos para execução e entendimento por parte da equipe envolvida. A falta de planejamento estratégico para o canteiro de obras pode resultar em erros simples, mas que geram grandes problemas adiante. A necessidade de precisar improvisar rapidamente, da falta de materiais ou perda/ desperdício deles, o fato de ter pessoas e equipamentos ociosos, do retrabalho e de riscos à segurança são alguns fatores resultantes. Um erro que começa pequeno pode, por vezes, resultar em grandes erros conforme a obra vai tendo andamento.

Por fim do total de pessoas questionadas, 50% responderam que utilizar o sistema BIM é importante. As demais 50% pessoas questionadas responderam que utilizar o sistema BIM é irrelevante.

Geralmente, o que mais foi relatado de problemas refere-se à logística, organização e qualidade das fundações (descartado este último, pois não está no foco de estudo deste trabalho).

4.2 Processo de montagem da obra adotado pela empresa

Após apresentação do diário de obras, listado no apêndice A, levantou-se os dados reais de execução da obra, apresentados no quadro 3, com peças montadas e prazos reais da obra, listados através de volume/dia. Com os dados apresentados foi possível criar o cenário virtual de execução real, que está disponível no apêndice B através de um link que permite a visualização da simulação em formato de vídeo sem edições, exportado do Navisworks.

Quadro 3 – Resumo por m³ da situação real

#	Serviço	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia7	Dia 8
%	Montagem	0,0%	2,8%	2,8%	1,7%	3,7%	4,5%	3,8%	6,7%
m ³	Peças Setembro	0,0	4,8	4,7	3,0	6,4	7,7	6,5	11,4

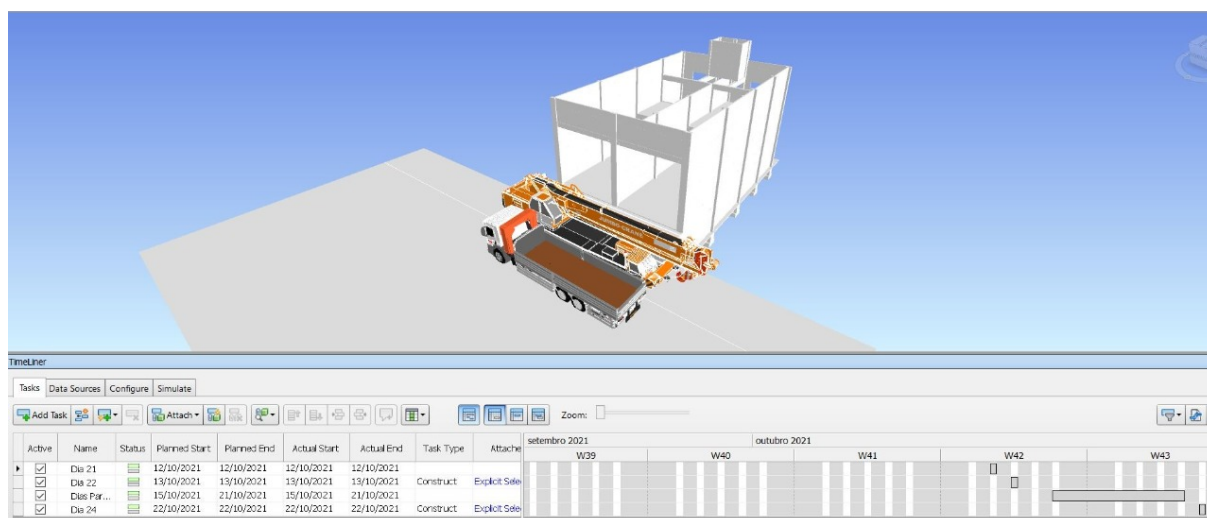
#	Serviço	Dia 9	Dia 10	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20
%	Montagem	5,5%	5,5%	5,3%	5,3%	2,7%	2,7%	7,3%	7,3%	6,4%	7%	9,4%	9,4%
m ³	Peças Outubro	9,5	9,5	9,1	9,1	4,6	4,6	12,5	12,5	11,0	11,9	16,0	16,0

%	Média/dia	5,00%
m ³	Média/dia	8,5

m ³ totais	170,7
-----------------------	--------------

A figura 7 mostra o modelo 4D e o gráfico de Gantt gerado pelo Naviswork, relativo as atividades de estudo desta pesquisa, que se referem a simulação da situação real.

Figura 7 - Modelo 4D e gráfico de Gantt do cenário real



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o empreendimento ocupou toda largura do terreno, ou seja, até as extremas, ficou impossível a estocagem de peças no terreno, visto o pouco espaço referente ao recuo frontal aliado à topografia em declive. Para tal cenário, foram projetadas duas hipóteses: as peças iriam sob demanda ou então seria feito a locação de um terreno próximo à construção, para estocagem delas. Visto o pouco tempo para início da obra desde a tomada dessas decisões e tendo em vista que não fora criado um planejamento formal, as peças em sua totalidade não estavam acabadas, ou seja, prontas para embarque. Como a logística, no que se refere à disponibilidade de carretas para transporte, estava ineficiente, optou-se pela locação deste terreno próximo à obra. Então, o caminhão Munck responsável pela montagem buscaria as peças no local de estocagem, conforme fosse a necessidade.

Como se optou pela disposição das peças em um terreno baldio, elas embarcaram da fábrica sem um planejamento formal e lógico de sequenciamento de montagem, sendo expedidas conforme demanda da fábrica. Sendo assim, a estocagem delas se sucedeu da mesma maneira que embarcaram, ou seja, sem planejamento. Essa situação acabou criando problemas logísticos com o caminhão Munck que foi utilizado além de seu objetivo principal de montagem, mas também para realocação dessas peças no canteiro. Isso gerou perda do tempo produtivo, impactos financeiros e estresse no trabalho.

Este fator, por si só, já justifica a importância de um planejamento detalhado de execução e lançamento de todas as peças. É possível fornecer, para a empresa fabricante, o PCP (planejamento controle produção) que seria a sequência de

fabricação a ser efetuada, conforme o que irá ser montado nos próximos dias. Com o início da sequência de fabricação definido, a estocagem seguirá o mesmo parâmetro e, da mesma forma, procederá o envio das peças até o canteiro de obras e a montagem por final. Isso gerará uma redução de custos, relativos tanto a eliminação de ociosidade ou retrabalho por parte da equipe de montadores, como a eliminação da movimentação dos maquinários no canteiro.

Com base no diário de obras e simulação do cenário real de montagem, confeccionado no Naviswork, foram listados os principais problemas logísticos e de execução das atividades, apresentados no quadro 4.

Quadro 4 - Principais problemas encontrados na montagem realizada

Item	Descrição do problema	Causa do problema	Consequência
1	Estocagem de peças sem sequenciamento	Falta de planejamento da sequência de fabricação e lançamento de cada peça da estrutura pré-fabricada, para que se possa programar com antecedência e maior precisão a locação de peças.	Atraso no lançamento da estrutura, perda de produção diária da equipe e aumento do número de dias para montagem.
2	Falta de peças disponíveis a serem montadas conforme sequenciamento apresentado	A falta de planejamento da sequência de fabricação e entrega da estrutura pré-fabricada.	Não utilização da produção máxima de lançamento por dia da equipe de montagem, gerando atrasos e gastos com a equipe.
3	Falta de cronograma	Devido à falta de planejamento, peças frontais ou de maior acessibilidade no pátio foram montadas antes, assim como processos atrasados .	Maior movimentação no canteiro, o que gerou desperdício de tempo e atrasos na obra.
4	Carência de ferramentas de visualização 3D do empreendimento	Apenas uso de projetos em 2D.	Falta de uma melhor visualização das atividades envolvidas e de uma ferramenta de planejamento adequada a complexidade da obra.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 8, obtida da captura da tela do Navisworks, exemplifica o item 1, onde é possível verificar que a área para estoque é nula, apenas sobrando espaço para acesso ao caminhão Munck. As peças foram estocadas de maneira qualquer no terreno baldio próximo à obra, o que gerou atrasos significativos com a separação de peças a serem utilizadas para sequenciamento lógico de montagem. Este intervalo perdido para o lançamento é consequência da falta da programação da

empresa executora da estrutura, pois como não havia o sequenciamento do lançamento das peças determinados previamente, o equipamento foi utilizado para outro fim sem ser o de montagem.

Figura 8 - Canteiro da obra



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 9 exemplifica o item 2, com a falta de peças a serem içadas no dia. Na imagem nota-se que foram montados apenas 08 pilares entre os dias 22/09 ao dia 24/09, pois o restante das peças necessárias ainda não havia embarcado para o canteiro de obras, deixando a equipe de montagem ociosa. É interessante salientar que nestes dias os pilares centrais estavam disponíveis para montagem, porém não foi possível montá-los. Se montados, os pilares laterais não teriam acesso posterior para içamento.

Figura 9 - Falta de Peças



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como no dia 27/09, por haver falta de pilares para montagem, iniciou-se a montagem das placas de fechamento, visando diminuir a ociosidade criada pela falta de planejamento na obra, ilustrando na figura 10 e sendo o item 3 da tabela.

Visto a necessidade de se grautear os pilares para içamento das demais peças, os pilares restantes geraram uma lacuna de montagem.

Figura 10 - Montagem de placas devido à falta de pilares



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pode-se ainda visualizar, na figura 11, a representação da montagem antecipada de lajes alveolares e vigas no dia 02/10, em frente às placas de fechamento do oitão de fundos, visto que elas estavam estocadas de maneira incorreta a sua utilização, sendo necessário investir tempo com a relocação delas, ou seja, retrabalho.

Figura 11 - Montagem Antecipada Lajes Alveolares



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 12, verifica-se ainda a parada ocasionada na obra, devido ao problema encontrado na geometria do pilar de oitão frontal, o que impossibilitou o andamento da construção, fazendo relação ao item 4 da tabela, que se refere à não utilização de um modelo virtual 3D para melhor visualização da execução.

Figura 12 - Erro de Geometria de peça



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Simulação de um Cenário Ideal de montagem a partir do BIM 4D e comparação à montagem realizada

Partindo do exposto dos problemas relatados acima, e da hipótese de que o BIM 4D no planejamento e controle de obras permite identificar com antecedência os problemas e interferências entre as atividades, foi criado um cenário ideal de montagem, buscando solucionar os problemas relatados e otimizando a construção, visando transformar as soluções em possíveis ganhos financeiros para quem a adere.

Este cenário planejado está disponível no apêndice B através de um link que permite a visualização da simulação em formato de vídeo sem edições, exportado do Navisworks.

Para a simulação de um cenário ideal de montagem da obra, algumas informações são importantes para bom entendimento do processo. O sequenciamento de lançamentos faz com que cada tipo de elemento da estrutura pré-fabricada possua interdependência com outra atividade predecessora, que se faz necessária para a montagem da próxima etapa. As informações apresentas no

quadro 5 são baseadas na experiência do autor, adquirida durante sua jornada acadêmica.

Quadro 5 - Detalhamento do lançamento da estrutura

Cód.	Predecessoras	Atividade	Detalhamento
a	Escavação	Fundações	Confecção das ferragens e caixaria com posterior concretagens dos blocos de fundação. Este processo se dá no próprio canteiro de obras.
b	Fundações	Lançamento Pilares	Os pilares pré-moldados são lançados nos seus respectivos blocos de fundação, com uso de guindaste ou Munck. Enquanto o pilar ainda está içado pelo guindaste e com sua base apoiada no fundo do cálice, é travado com cunhas de madeira e em seguida grauteado, executando a ligação pilar X fundação.
C	Lançamento Pilares	Lançamento das vigas/placas	Após montagem dos pilares, as vigas são lançadas com uso de guindaste ou Munck nos pilares sobre apoios de Neoprene, e as placas encaixadas em ranhuras dispostas previamente nos pilares.
D	Lançamento das vigas/placas	Lançamento das lajes/escadas	As lajes e escadas são lançadas nas vigas com uso de guindaste ou Munck e, assim como o restante das peças, saem da fábrica e são transportadas pela rodovia até o canteiro de obras.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A criação do cenário ideal de montagem levou em conta alguns critérios, tendo como base e amparo o histórico do currículo do autor, gerado pela experiência no mercado de trabalho, aliado à função de organização das obras da empresa na qual é funcionário há cerca de 6 anos. Sendo assim, foi possível aliar alguns índices de produtividade, mais especificamente em relação à montagem das peças pré-fabricadas. Os valores são listados por unidade/dia, visto que para montagem das peças pouco interfere a seção, altura ou espessura diferente entre elas, porém, eliminando casos pontuais. Ressalta-se que, como base, o trabalho gerado é necessário para montagem das peças igualmente.

Os índices abaixo apresentados possuem como referência condições ideais de trabalho, com condições climáticas favoráveis e peças com bom sequenciamento de montagem:

Quadro 6 - Índices de Montagem por Unidades de Peças

Montagem de Peças		
Peça	Quantidade usual de montagem	Valor adotado para o cenário
Pilares	10 a 15 Unid./dia	máx. 10 Unid./dia
Vigas	15 a 20 Unid./dia	máx. 15 Unid./dia

Placas/Cortinas	20 a 40 Unid./dia	máx. 22 Unid./dia
Lajes	30 Unid./dia	máx. 20 Unid./dia

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após criação da simulação do cenário proposto foi criado para fins de comparação ao cenário real, o resumo por m³ de montagem por dia apresentado no quadro 7.

Quadro 7 - Resumo por m³ do cenário proposto

#	Serviço	Dia1	Dia2	Dia3	Dia4	Dia5	Dia6	Dia7
%	Montagem	4,4%	7,4%	7,8%	6,3%	3,1%	2,4%	5,9%
m ³	Peças Setembro	7,5	12,7	13,3	10,8	5,3	4,1	10,1

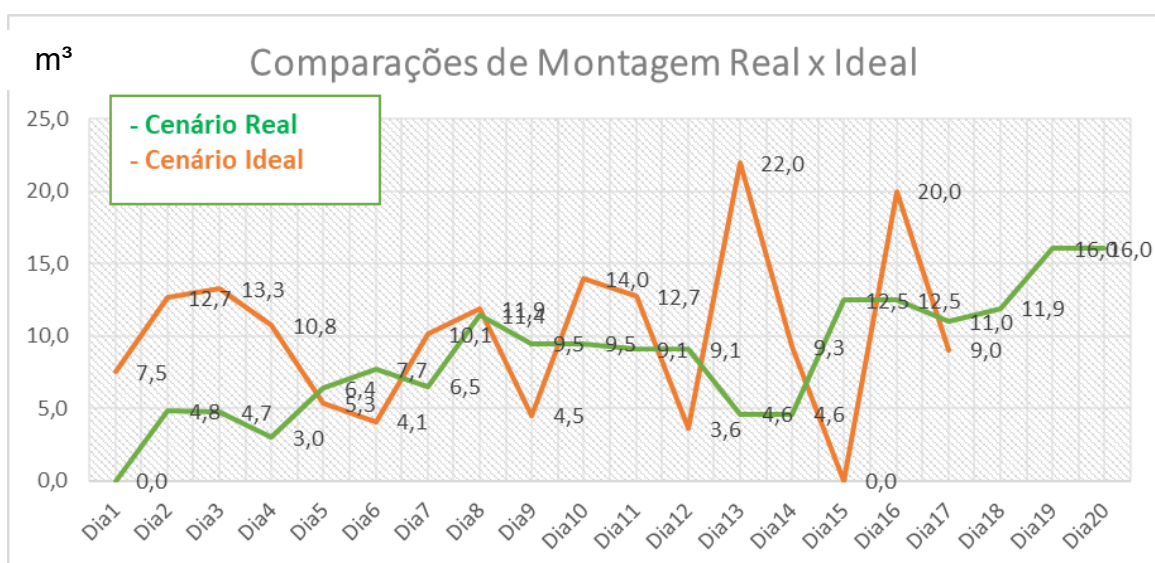
#	Serviço	Dia8	Dia9	Dia10	Dia11	Dia12	Dia13	Dia14	Dia17
%	Montagem	7,0%	2,6%	8,2%	7,4%	2,1%	12,9%	5,4%	5,3%
m ³	Peças Outubro	11,9	4,5	14,0	12,7	3,6	22,0	9,3	9,0

%	Média/dia	5,88%
m ³	Média/dia	10,0

m ³ totais	170,7
-----------------------	--------------

Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 1 - Comparações de montagem



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao realizar as devidas análises, é possível notar o aumento da média de m³ montados por dia passando de 8,5 para 10, ocasionando o ganho de 3 dias no total da montagem geral proposta.

Com o planejamento antecipado de lançamento proporcionado pelo BIM, os problemas relatados com a perda de tempo devido à falta de planejamento para uma sequência lógica de estocagem e montagem podem ser facilmente sanados.

Para elucidar o feito foi criado um diário de obras ideal, o qual pode ser passado para o PCP da fábrica, descrevendo o dia a dia de montagem, com a relação de peças que se farão necessárias a fabricação, com clareza e exatidão para uso em determinado dia.

Isto por si só justifica a importância de um planejamento detalhado, pois gera uma redução de custos referentes ao tempo ocioso da equipe de montagem, que por horas ficou fazendo retrabalho de algo que seria evitável: a separação de peças que já deveriam ter vindo em sequência da fábrica.

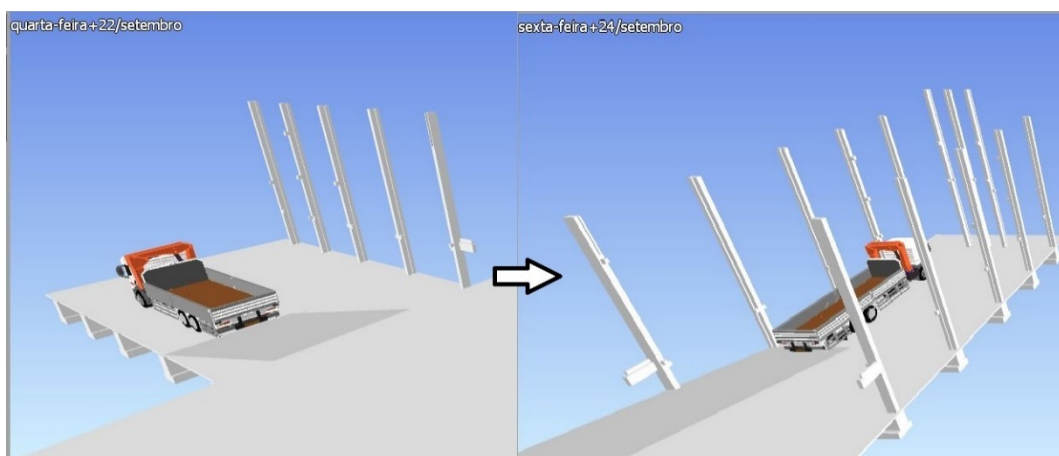
O diário criado para o cenário ideal é listado no apêndice C deste trabalho.

Para criação do cenário ideal, optou-se por prezar pela montagem de itens iguais, de modo a facilitar o controle e um bom entendimento aos possíveis envolvidos. A simulação criada envolveu a análise logística de montagem de cada um dos 292 itens modelados, planejando o lançamento integral de toda estrutura.

Inicialmente é possível observar no vídeo criado no Nasvisworks e ilustrado na figura 13 que no primeiro e segundo dia, optou-se pela montagem de todos os pilares laterais em uma ordem linear, permitindo ao Munck fazer o mínimo de deslocamento possível e criando uma sequência lógica de montagem.

Vale salientar que para o primeiro dia de montagem é aconselhável o uso de topografia, para ganhar tempo com a confecção do esquadro que, ao adotar a topografia, é mais acelerado, utilizando o tempo de meio dia. Por isso, apenas 05 pilares tiveram sua montagem proposta, sendo meio dia para confecção do esquadro e meio dia para montagem dos pilares.

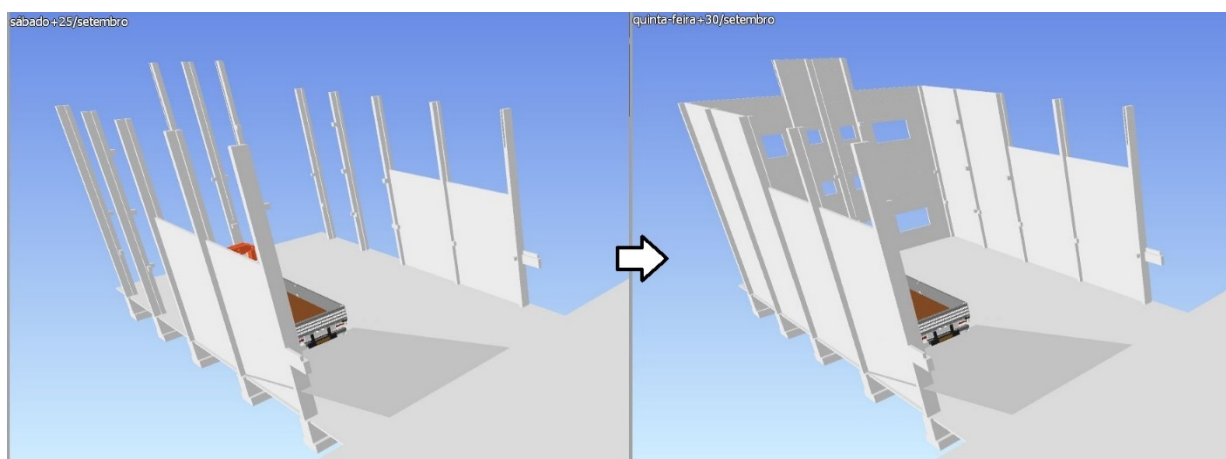
Figura 13- Montagem Pilares



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após, para criar estabilidade global ao empreendimento, projetou-se a montagem de 05 placas nas laterais, dando preferência para as peças de mesma identificação e tamanho, a fim de facilitar a entrega, fabricação e estocagem dos itens. Por fim, deu-se atenção à montagem das laterais de fundos, a fim de permitir a montagem dos mezaninos sem interferências das paredes de fechamento. Esta sequência lógica pode ser verificada na figura 14 abaixo:

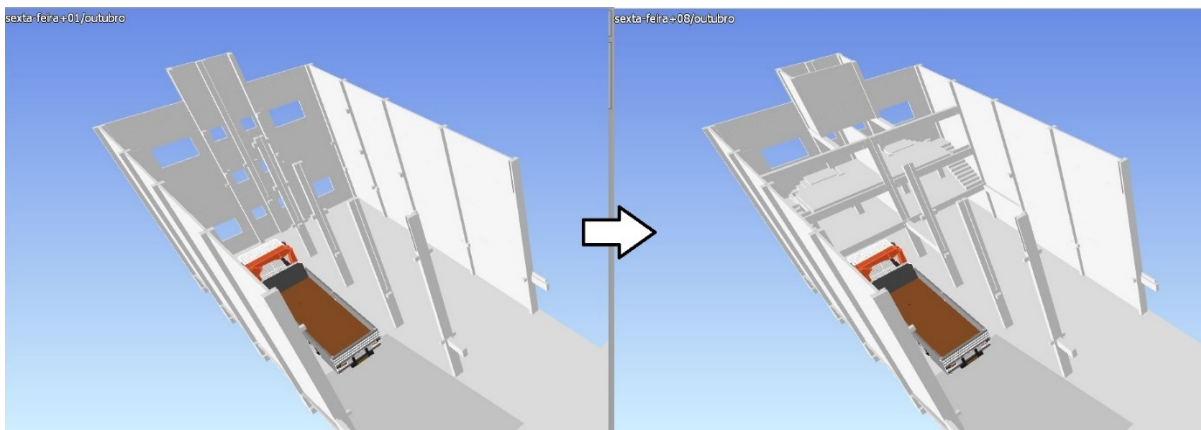
Figura 14 - Montagem Placas Fechamento Laterais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Seguindo a lógica de montagem, com as placas laterais pré-fabricadas içadas, a montagem proposta focou em finalizar a montagem da estrutura do reservatório de água, sendo a parte que contempla a maior dificuldade por serem peças diferentes e sequenciamento logístico distinto. Esta sequência lógica pode ser verificada na figura 15 abaixo:

Figura 15 - Montagem Pilares Centrais e Fundos

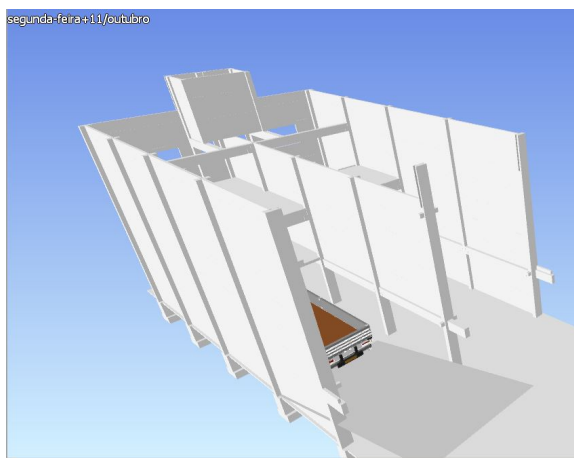


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda com a utilização do caminhão Munck, foi finalizada a montagem das placas centrais e vigamentos de apoio a lajes alveolares. Esta sequência é ilustrada na Figura 15.

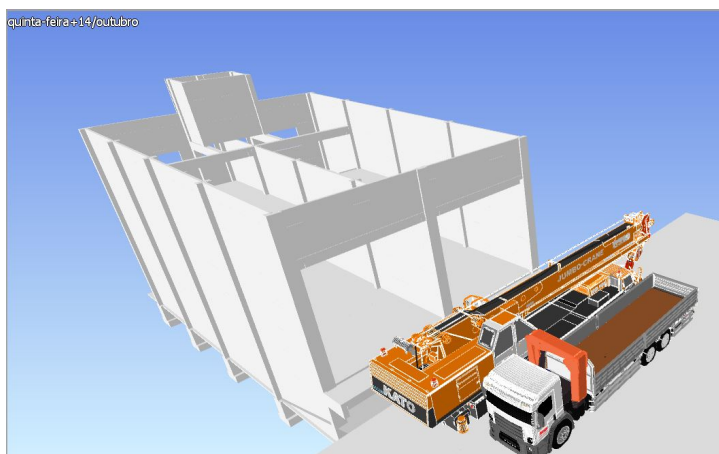
Por seguinte, foi feito um dia de visita e acompanhamento da obra, para criação do acesso frontal do guindaste com maquinário de terrapleno. Este dia, de certa maneira, foi perdido, e não foi contemplado no cenário real, visto que este serviço necessário foi realizado enquanto a equipe saiu da obra para a correção de um pilar com geometria incorreta. Por fim, conforme a figura 16, com a utilização do guindaste, que se fez necessário devido ao grande vão de içamento das lajes, terminou-se a proposta de montagem das peças pré-moldadas.

Figura 16 - Montagem Placas Centrais



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Montagem Final



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da análise do cenário ideal em comparação direta ao cenário real, fica claro que ele é eficiente em relação à diminuição do tempo de duração total da obra, solucionando o problema da falta de um sequenciamento lógico de montagem, bem como de um cronograma específico e de uma ferramenta de visualização do andamento da construção, que contemple imagens e vídeos em 3D do que será executado. Esta possibilidade de análise, mesmo que em um cenário hipotético, reforça a importância do uso do BIM4D para o planejamento e controle de obras de forma geral.

4.4 Identificação de benefícios e dificuldades na utilização do sistema BIM 4D

Com o estudo realizado, pode-se dizer que a maior dificuldade enfrentada nas utilizações de BIM 4D é o tempo dedicado na elaboração do projeto. A quantidade de horas investidas na utilização desse software é considerável, porém, necessária. Contudo, entende-se que o tempo investido em um detalhamento mais completo na fase de projeto, com maior atenção aos detalhes, é recuperado depois, no canteiro, onde as oportunidades de erros são menores e a logística é mais assertiva e eficiente.

Da mesma forma, se destaca que o maior benefício é justamente o ganho de velocidade na execução, que se atrela diretamente a um projeto bem elaborado, um trabalho organizado e a eficiência construtiva (que engloba todas as características positivas de um projeto e execução bem desenvolvidos).

Em suma, os maiores benefícios do sistema BIM são: redução de custos, redução do tempo da obra, redução do retrabalho, menores hipóteses de erros, compatibilização entre projetos, visualização de todo processo construtivo (vídeo), criação de um layout eficaz para o canteiro de obras, percepção de possíveis erros durante a fase de projeto, controle virtual das obras, adequação da obra diante de possíveis imprevistos, criação da base de dados detalhadamente, simulações variadas (montagem, sequenciamento de peças, sequenciamento construtivo, etc.) e envio de sequenciamento de peças para a fábrica (para a produção de peças ocorrer conforme a demanda de montagem).

As maiores dificuldades seriam: o tempo de projeto (como já citado anteriormente), aprender o funcionamento do programa e a compatibilização entre softwares diferentes, não conseguir considerar tarefas antecessoras (como escavação e limpeza do terreno) e, por momento, dificuldade de instalação da tecnologia (resistência das pessoas).

Com os benefícios e dificuldades apresentados, é possível entender a eficácia da implementação da tecnologia BIM nas construções civis, além de perceber que, quanto às dificuldades citadas, é questão de tempo para serem dissolvidas.

Desta forma, se pode concluir que adotar uma nova ferramenta de trabalho, se faz muito necessária para redução de custos, eliminação de erros e maior velocidade construtiva.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise minuciosa do diário de obras do empreendimento executado foram levantados os principais problemas em relação ao planejamento da obra, efetuando, por conseguinte, a simulação deste cenário, e visando identificar de fato os pontos críticos que interferiram no bom andamento da execução. Em sequência foi elaborado um cenário alternativo ao real, visando integrar o planejamento de obra e o controle logístico e de produção através da modelagem em BIM 4D. No cenário proposto em comparação ao real foram sanados todos os problemas relatados que prejudicaram o bom andamento da obra, de modo a resolver também os problemas relatados de estocagem de peças fora de ordem de uso e de um sequenciamento lógico.

Como maior ganho significativo pode-se citar a redução com gastos da equipe de montagem, visto que no cenário proposto, apesar de ser hipotético, mas aliado a realidade, traz um ganho de 03 dias na entrega da obra. Esse ganho pode ser considerado um número baixo, mas se comparado aos 20 dias de montagem do cenário real, traz um ganho de 15% em relação ao tempo de montagem final. Um ganho considerável, ainda mais aliado ao ganho de planejamento que, se tivesse sido executado, evitaria problemas como a pausa que foi necessária na obra para ajustes de geometria de peças. Esse problema poderia ser facilmente solucionado se fosse usada a tecnologia BIM.

Vale citar aqui, além das melhorias encontradas, a potencialidade do sistema em relação à visualização do empreendimento em sua totalidade, como também a facilidade de visualizar o planejamento em formato 3D, passando ao gestor da obra a possibilidade de olhar a obra em âmbito global, detectando possíveis erros ou melhorias potenciais. Isso, aliado a experiência técnica, ajudou na criação do cenário ideal para este trabalho, modificado ainda em sua elaboração diversas vezes ao encontrar incoerências, que ocorreriam pela facilidade em se visualizar o esquema de montagem dia a dia no software Navisworks.

De maneira geral, o questionário elaborado também trouxe dados importantes. Esses dados foram utilizados na percepção ao se adotar um planejamento formal de obra, que detalhasse o passo a passo do dia de trabalho, facilitando a montagem e trazendo ganhos significativos na redução do tempo demandado para entrega dos empreendimentos. Inclui-se também o fato de não

deixar decisões para serem tomadas na obra, o que traz muitas vezes problemas logísticos pela falta de atenção aos detalhes, que podem ser facilmente sanadas pelo sistema.

A maior dificuldade encontrada foi em relação ao tempo empregado para modelagem do empreendimento estudo de caso. As diferentes peças e detalhes específicos que cada uma possuía, assim como o tempo investido no aprendizado do software Navisworks, bem como a associação com os dados reais da obra, que demandaram tempo para análise de que peça foi montada e qual dia.

Planejamento e controle da execução são pontos fundamentais para que o empreendimento seja executado nos prazos disponíveis. O trabalho apresentado focou na utilização da metodologia BIM 4D, com ênfase no planejamento de curto prazo, visando identificar as vantagens e desvantagens de sua utilização.

Como benefícios observados, destaca-se a maior clareza em projetos de detalhamentos específicos. O sistema de projeto modelado em BIM pode oferecer um nível maior de detalhes, não exigindo muito tempo para isto. A facilidade na elaboração do projeto permite adicionar nas pranchas detalhes de desenhos construtivos, encaixes e sequências de montagem. Esses detalhes, que por vezes, não são realizados no sistema tradicional CAD. A antecipação do esclarecimento de possíveis erros através do desenho é algo de extrema importância, que diminui a necessidade de o técnico precisar ir à obra fazer esclarecimentos e o tempo que a obra pode ficar parada pelas dúvidas existentes. Como o desenho no CAD demanda tempo, muitas vezes, alguns detalhes não são desenhados, deixando a interpretação por parte de quem está executando. No sistema BIM, uma rápida configuração do desenho e uma ampliação maior em detalhes já é fornecido pelo programa, o que elimina a necessidade de desenhar novamente. O sistema BIM permite elaborar todos os desenhos de detalhes que serão necessários de forma rápida, prática e com a certeza de que está compatível com o projeto principal.

Quanto ao estudo de caso, o trabalho focou na modelagem BIM, com a utilização de softwares Revit e Navisworks, evidenciando a qualidade no planejamento obtido com o uso da metodologia adotada trazendo ainda, como benefício, a criação de animações relacionadas às etapas construtivas do empreendimento. Esse benefício pode gerar ganhos em relação à montagem, pois facilita o serviço de quem o utiliza, assim como na fase de planejamento, que ajuda

a tomar decisões mais assertivas sobre o que será feito em determinada data, visto a facilidade de visualizar dia a dia o que está sendo colocado no cronograma.

REFERÊNCIAS

- AIA. **Building Project Modeling Information Form Protocol**. [s. l.], p. 1–5, 2013. Disponível em: <https://www.aiacontracts.org/contract-documents/19016-project-bim-protocol>. Acesso em: 13 maio 2021.
- ALMEIDA, Eduardo Lovacat Galvão de; PICCHI, Flávio Augusto. Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 91–109, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100211>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. Lean project management. **Building Research and Information**, v. 31, p. 119–133, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09613210301997>. Acesso em: 15 maio 2021.
- BATAGLIN, Fernanda Saidelles et al. BIM 4D aplicado à gestão logística: implementação na montagem de sistemas pré-fabricados de concreto engineer-to-order. **Ambiente Construído** [online], v. 18, n. 1, p. 173-192, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100215>. Acesso em: 21 abr. 2021.
- BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13718/000292771.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 maio 2021.
- BIOTTO, Clarissa Notariano; FORMOSO, Carlos Torres; ISATTO, Eduardo Luís. Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 2, p. 79–96, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000200015>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- BOMFIM, Carlos Alberto; LISBOA, Bruno; MATOS, Pedro. Gestão de Obras com BIM – uma nova era para o setor da Construção Civil. *In*: CONGRESS OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS (SIGRADI), 20., 2016, Buenos Aires. **Anais Eletrônicos**, Sigradi, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-724>. Acesso em: 31 mar. 2021.
- BONEV, Martin; WÖRÖSCH, Michael; HVAM, Lars. Utilizing platforms in industrialized construction: A case study of a precast manufacturer. **Construction Innovation**, v. 15, n. 1, p. 84–106, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/CI-04-2014-0023>. Acesso em: 12 maio 2021.
- BORTOLINI, Rafaela. **Modelo para planejamento e controle logístico de obras de sistemas pré-fabricados do tipo engineer-to-order com o uso de BIM 4D**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127931/000972092.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 abr. 2021.

CAMERA, Elaine et al. Utilização dos princípios da lean construction como estratégia de melhorias em canteiros de obras: uma revisão sistemática. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)*, 35., 2015, Fortaleza. **Anais Eletrônicos**, 2015. Disponível em:

http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_206_221_28241.pdf. Acesso em: 21 maio 2021.

CAMPESTRINI, Tiago Francisco. et al. **Entendendo BIM** - uma visão do projeto de construção sob o foco da informação. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2015. Disponível em: https://ab8bbf28-9f28-4645-b521-33f942272294.filesusr.com/ugd/226894_dd8413f45cc842bf92da6875eb52dee1.pdf.

Acesso em 23 abr. 2021.

CAPIOTTI, Laura Jaskulski. **Vantagem do uso de modelagem BIM 4D e 5D no planejamento e controle da produção**. TCC (Curso de Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em:

http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_LAURA%20JASKULSKI%20%20CAPIOTTI.pdf. Acesso em: 27 maio 2021.

CATELANI, Wilton Silva. **10 Motivos Para Evoluir com o BIM**. Brasília: CBIC, 2017. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Cartilha_do_BIM_2016.pdf.

Acesso em: 21 abr. 2021.

CATELANI, Wilton Silva. **Fundamentos BIM: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras - volume 01**. Brasília: CBIC, 2016a. Disponível em:

<https://saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2017/03/volume1-fundamentos-bim.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

CATELANI, Wilton Silva. **Colaboração e integração BIM: coletânea implementação do BIM para construtoras e incorporadoras, volume 03**. Brasília: CBIC, 2016b.

Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2017/03/volume3-colaboracao-e-integracao-bim.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

CHAVES, Luis Henrique Simonetti. **Aplicação do método de modelagem BIM 4D em empreendimento comercial de pequeno porte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019. Disponível em: <http://monografias.ufrn.br:8080/jspui/handle/123456789/8959>.

Acesso em: 5 abr. 2021.

COELHO, D. F. M. Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planeamento, preparação e monitorização de obras. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, , 1, 2016. **Anais [...]**, 2016, p. 437-450. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/46076>. Acesso em: 15 ago.2021.

COSTA, Bruno Freijanes. **Estudo Sobre os Ganhos Obtidos com a Adoção do Last Planner System Aplicado ao Planejamento e Controle na Construção**. Projeto (Curso de Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022733.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

DELATORRE, Joice Paula Martim; SANTOS, Eduardo Toledo. Gestão do Nível de Detalhamento da Informação em um Modelo Bim: análise de um estudo caso. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 7., Recife, 2015. **Anais Eletrônicos**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/engpro-tic2015-065>. Acesso em: 12 maio 2021.

EASTMAN, Chuck et al. BIM for the Construction Industry. **Wiley Online Library**, 2008. p. 207-242. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470261309.ch6>. Acesso em: 7 abr. 2021.

Formoso, T. C. **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GOSLING, J.; NAIM, M. M. Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. **International Journal of Production Economics**, v. 122, n. 2, p. 741–754, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.07.002>. Acesso em: 12 abr. 2021.

HALPIN, Daniel; WOODHEAD, Ronald. **Administração da Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

KIM, Hyeon Seung et al. Improvement of Realism of 4D Objects Using Augmented Reality Objects and Actual Images of a Construction Site. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, n. 8, p. 2735–2746, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12205-017-0734-3>. Acesso em: 27 maio 2021.

HUOVILA, P.; KOSKELA, L. Contribution of the Principles of Lean Construction to Meet the Challenges of Sustainable Development. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 6, Guaruja, 1998.

KYMMEL, Willen. **Building Information Modelling**: planning and managing construction projects with 4d cad and simulations. NY: McGraw-Hill Education, 2008.

LESSING, J. **Industrialised House-Building** - Conceptual orientation and strategic perspectives. Lund University (Media-Tryck): General, 2015.

LIMMER, CARL V. **Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1997, 225 p.

MAGALHÃES, Lyvirgton de Souza. Plataforma Bim Integrado ao Planejamento 4D na Construção Civil. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVIII, n. 151, p. 1-16, 2017. Disponível em: https://semanaacademica.com.br/system/files/artigos/plataforma_bim_integrado_ao_planejamento_4d_na_construcao_civil_123456.pdf. Acesso em 2 abr. 2021.

MARTINS, João; MONTEIRO, André. Building Information Modeling (BIM) - teoria e aplicação. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING, Covilhã, Portugal, 2011. **Anais Eletrônicos**, 2011. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/69849/2/60875.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2021.

MATTOS, A. D. Planejamento e Controle de Obras. **Pini**, n. 1, p. 1–420, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>. Acesso em: 31 mar. 2021.

OLIVEIRA, Larissa de. **Aplicação do BIM 5D** - desafios e oportunidades percebidos na ornamentação de obras: pesquisa exploratória. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) - Departamento de Engenharia Materiais e da Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/31475?locale=pt_BR. Acesso em 2 maio 2021.

POÇAS, Ana Rita Fernandes. **Planeamento e controle de projetos de construção com recurso ao BIM**. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/40606>. Acesso em 13 abr. 2021.

SILVA, Max Paulo Santos da. **Realidade Aumentada Aplicada a Projetos Arquitetônicos Para Engenharia Civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016. Disponível em: https://www2.ufrb.edu.br/bcet/components/com_chronoforms5/chronoforms/uploads/tcc/20190314181149_2016.X_-_TCC_Max_Da_Silva_-_Realidade_Aumentada_Aplicada_a_Projetos_Arquitetnicos_Para_Engenharia_Civil.pdf. Acesso em: 12 maio 2021.

SILVA, P. H. da; CRIPPA, J.; SCHEER, S. BIM 4D no planejamento de obras: detalhamento, benefícios e dificuldades. **PARC** - Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 10, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8650258>. Acesso em: 13 jun. 2021.

SMITH, P. BIM implementation - Global strategies. **Procedia Engineering**, v. 85, p. 482–492, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>. Acesso em: 5 jun. 2021.

VIANA, D. D. **Integrated Production Planning and Control Model for Engineer-To-Order Prefabricated Building Systems**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127770/000970521.pdf?sequence=1>. Acesso em: 2 jun. 2021.

WANG, H. J. et al. 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. **Automation in Construction**, v. 13, n. 5, p. 575–589, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.04.003>. Acesso em: 12 abr. 2021.

APÊNDICE A – DIÁRIO DE OBRAS - CENÁRIO REAL

Data	Dia da semana	O que aconteceu?	Peças
21/set	Terça-Feira	Iniciou a montagem do pré-moldado, sendo neste dia remontado o esquadro que havia sido quebrado pelo maquinário que fez o terrapleno após execução das fundações, como não tinham topografia com pontos de referência o esquadro teve algumas leves diferenças do esquadro batido anterior constatando-se que havia que se romper algumas bordas de cálices para embutir pilares com certa folga necessária	-
22/set	Quarta-Feira	Pela parte da manhã iniciou-se a montagem de pilares após retroescavadeira ter arrumado o acesso para entrada do caminhão Munck, terminando a montagem de 03x pilares ainda pela parte da manhã, pela tarde tempo ocioso gerado pois peças necessárias ainda estavam em deslocamento para obra, sendo assim ficando muito tempo ocioso pela parte da tarde, onde nesta foi-se chumbado pilares que haviam sido erguidos nos fustes e rompido os fustes (Cálices) necessários	P04/P10/P13
23/set	Quinta-Feira	Com a chegada dos pilares necessários na tarde dia anterior para sequência de montagem, se deu sequência a instalação deles. Sendo a parte da tarde sendo utilizada para descarga de lajes alveolares que chegaram de SC em terreno baldio próximo a obra - 01º Carga	P03/P05/P19
24/set	Sexta-Feira	Montagem de Pilares de forma geral Sendo a parte do final da tarde sendo utilizada para descarga de lajes alveolares que chegaram de SC em terreno baldio próximo a obra - 02º Carga	P14/P17
25/set	Sábado	Sem Expediente	
26/set	Domingo	Sem Expediente	
27/set	Segunda-Feira	Neste dia iniciou-se a montagem das placas de fechamento, Sendo a parte do final da tarde utilizada para descarga de lajes alveolares que chegaram de SC em terreno baldio próximo a obra, 3ª última carga	11x Placas = 4XPL03 + 03XPL02 + 4XPL01
28/set	Terça-Feira	Dia utilizado para separar e organizar as peças em obra, pois estavam as peças a serem utilizadas em sequência no início do monte, tendo tudo que ser realocado para bom andamento da montagem. Sendo também montado alguns pilares neste dia!	P1/P2/P8/P11/P16
29/set	Quarta-Feira	Neste dia, continuou-se a reorganizar das peças no canteiro destinado para estocagem das peças, sendo montado algumas placas de fechamento neste dia	16x Placas = 4XPL01 +2XPL02 + 3XPL03R + 01XPL12 + 01XPL14 +01x PL11R+2XPLJANE LA +02XPL13R

30/set	Quinta-Feira	Montagem de Peças de forma geral Placas de Fechamento + Lajes + Vigas)	1XPP09 + 3XPL02 + 5XPL03 + 5XPL01 + 1XVP03E + 1XVP06 + 1XVP07 + 1xLaje Alveolar
01/out	Sexta-Feira	Montagem de Peças de forma geral (Pilares + Lajes + Vigas)	Montagem dividida por 02 dias: 5x PL01 + 5xPL03 + 01xPL03S + 3XPL02 + 4XPL11 + 1XPL1S + 1XPL16 + 1XPL19 + 1XPL13 + 1XPL17 + 1XPL18 + 1XPL13 + 1XPLJAN + P6D + P6E + P7E + P7D + VP3D + VP7 + 7x Lajes
02/out	Sábado	Montagem de Peças de forma geral (Pilares + Lajes + Vigas)	Montagem dividida por 02 dias: 5x PL01 + 5xPL03 + 01xPL03S + 3XPL02 + 4XPL11 + 1XPL1S + 1XPL16 + 1XPL19 + 1XPL13 + 1XPL17 + 1XPL18 + 1XPL13 + 1XPLJAN + P6D + P6E + P7E + P7D + VP3D + VP7 + 7x Lajes
03/out	Domingo	Sem Expediente	
04/out	Segunda-Feira	Montagem de Peças de forma geral, foi instalado perfis necessários para fixação das placas, dando-se sequência neste dia ainda para montagem das placas de fechamento e lajes alveolares, e montando o jogo de escadas cujo qual também faltou consolo necessário sendo feito ajustes em obra e cortado pinos de fixação cujo estavam em desconforme com projeto	Montagem dividida em 02 dias: 1PP09 + 2xVP14 + 2xVP13 + 2xVP15 + 2xVP16 + 2xVP12D + 2xVP19D + 2xVP08 + 2Jogos de Escadas + 2xPL03 + 01xPL03S + 2XPL13 + 1XPL17 + 1XPL18 + 5XPL11 + 1XPL12 + 1XPL14 + 1XPL15 + 1XPL16 + 1XPL19 + 6xLajes

05/0 ut	Terça- Feira	Montagem de Peças de forma geral, foi instalado perfis necessários para fixação das placas, dando-se sequência neste dia ainda para montagem das placas de fechamento e lajes alveolares	Montagem dividida em 02 dias: 1PP09 + 2xVP14 + 2xVP13 + 2xVP15 + 2xVP16 + 2xVP12D + 2xVP19D + 2xVP08 + 2Jogos de Escadas + 2xPL03 + 01xPL03S + 2XPL13 + 1XPL17 + 1XPL18 + 5XPL11 + 1XPL12 + 1XPL14 + 1XPL15 + 1XPL16 + 1XPL19 + 6xLajes
06/0 ut	Quarta- Feira	Montagem de Peças de forma geral, sendo neste dia montado placas de fechamento, lajes alveolares e vigas de Piso	Montagem dividida em 02 dias: 02xpl13 + 02xpl20 + 02xpl21 + 02xpl22 + 4xpl28 + 02xpl27 + 02xpl26 + 01xpl02s + 03pl03 + 01xpl07 + 01xpl10 + 2xvp17 + 02xvp18 + 02xpp20 + 02xlajes
07/0 ut	Quinta- Feira	Montagem de Peças de forma geral, sendo neste dia montado placas de fechamento e pilares para caixa da água soldados em viga de transição	Montagem dividida em 02 dias: 02xpl13 + 02xpl20 + 02xpl21 + 02xpl22 + 4xpl28 + 02xpl27 + 02xpl26 + 01xpl02s + 03pl03 + 01xpl07 + 01xpl10 + 2xvp17 + 02xvp18 + 02xpp20 + 02xlajes
08/0 ut	Sexta- Feira	Montagem de Peças de Forma Geral, sendo neste dia montado pilares do eixo central e lajes alveolares.	Montagem dividida em 02 dias: 10xPL02 + 02XPL02S + 01XPL09 + 01XPL06 + 02XVP02 + 1XVP05 + 18Lajes + 01xPP12
09/0 ut	Sábado	Neste dia foi instalado uma viga metálica que se fez necessário após descoberta de erro de projeto, faltando um apoio para fixação da laje alveolar na caixa da água, após isso deu-se sequência a montagem das vigas de piso, lajes alveolares e placas de fechamento	Montagem dividida em 02 dias: 10xPL02 + 02XPL02S + 01XPL09 + 01XPL06 +

			02XVP02 + 1XVP05 + 18Lajes + 1XPP12
10/0 ut	Domingo	Sem Expediente	
11/0 ut	Segunda-feira	Montagem de Peças de forma geral, sendo montado neste dia pilares do eixo central, finalizando assim neste dia a montagem de pilares, após se deu a montagem de vigas piso e lajes alveolares. Foi necessário fazer um escavo manual do cálice do oitão frontal cujo havia sido soterrado na construção da rampa frontal de acesso	1XP15 + 1XP18 + 1XVP1 + 1XVP4 + 1XPL05 + 4XPL01 + 1XPL01S + 4LAJES
12/0 ut	Terça-feira	Feriado Nacional	
13/0 ut	Quarta-feira	Foi constatado que o Pilar do Eixo central - oitão estava com consolos incorretos, não sendo viável a correção do mesmo em canteiro de obra, foi necessário fazer a retirada do mesmo para que regresse a fábrica, cujo coleta se dará posteriormente por carreta da empresa fabricante. No mais se adiantou a montagem das placas de fechamento, sendo isto para este dia, montando basicamente tudo que estava ao alcance sem a instalação desta peça incorreta. No mais a equipe foi deslocada para outra obra da empresa, pois o sequenciamento de montagem travou devido à falta/erro da peça citada.	02xPL01S + 14xPL01 + 01xPL08 + 1xPilar retirado
14/0 ut	Quinta-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
15/0 ut	Sexta-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
16/0 ut	Sábado	Sem Expediente	
17/0 ut	Domingo	Sem Expediente	
18/0 ut	Segunda-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
19/0 ut	Terça-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
20/0 ut	Quarta-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
21/0 ut	Quinta-feira	Sem Expediente - Aguardo Guindaste e correção Peça (Pilar)	
22/0 ut	Sexta-feira	Montagem Final	Peças Finais - Montagem com Guindaste
23/0 ut	Sábado	Sem Expediente	
24/0 ut	Domingo	Sem Expediente	

25/0 ut	Segund a-feira	Montagem Final de Peças	Peças Finais - Montagem com Munck
------------	-------------------	-------------------------	---

APÊNDICE B – LINKS PARA OS VÍDEOS DAS SIMULAÇÕES EXPORTADAS DO NAVISWORKS

Cenário real:

https://drive.google.com/file/d/1X2TQPZF7EB_knWDhCDF5WNJVNnpHu8y7/view?usp=sharing

Cenário Proposto:

<https://drive.google.com/file/d/1iMT0YV0wafNXVHbKbRXZtRKoda6PxmDF/view?usp=sharing>

APÊNDICE C – DIÁRIO DE OBRAS - CENÁRIO IDEAL

Data	Dia da semana	O que aconteceu?	Peças
22/set	Quarta-Feira	Topografia - Montagem 5x Pilares	P19 + P16 + P13 + P10 + P05
23/set	Quinta-Feira	8x Pilares	P04 + P03 + P02 + P01 + P08 + P11 + P14 + P17
24/set	Sexta-Feira	Montagem 20x Placas	20x PL01
25/set	Sábado	Sem Expediente	
26/set	Domingo	Sem Expediente	
27/set	Segunda-Feira	Montagem 20x Placas	10x PL02 + 10xPL03
28/set	Terça-Feira	Montagem 22x Placas	8xPL11 + 2x PL14 + 2x PL12 + 4x PL13 + 2x PL17 + 2x PL18 + 2x PLJan
29/set	Quarta-Feira	Montagem 20x Placas	2xPL15 + 2xPL16 + 2xPL11 + 2xPL19 + 6xPL13 + 2xPL23 + 2xPL20 + 2xPL22
30/set	Quinta-Feira	Montagem 20x Placas	4xPL01 + 6xPL02 + 6xPL03 + 02XPL02S + 02xPL03S
01/out	Sexta-Feira	Montagem 12x Placas e 4x Pilares	8xPL01 + 4xPL01S + PP09 + PP12 + PP15 + PP18
02/out	Sábado	Sem Expediente	
03/out	Domingo	Sem Expediente	
04/out	Segunda-Feira	Montagem 9xVigas + 4x Pilares Soldados	VP03D + VP0E3 + VP06 + 2XVP08 + 2XVP07 + 2XPP06 + 2XPP07 + EXVP14
05/out	Terça-Feira	Montagem 8 Lajes Alveolares + 2x jogos escadas + 6x vigas	2x jogos escadas + 8x lajes + VP12 + VP12E + 02xVP13 + 02xVP15
06/out	Quarta-Feira	Montagem 5x Placas + 4x Vigas e 8x Lajes	1xPL07 + 3xPL03 + 1xPL10 + 2XVP17 + 2xVP18 + 8 Lajes
07/out	Quinta-Feira	Montagem 9xPlacas + 02xPilares Soldados e 2x Lajes Cx Água	2xPP20 + 4xPL28 + 2xPL27 + 1xPL25 + 1xPL26 + 1Xpl26s + 02x Lajes Cx água
08/out	Sexta-Feira	Montagem 5x Placas + 2x vigas + 18lajes	1xPL06 + 3xPL02 + 1xPL09 + 2xVP11 + 18 lajes
09/out	Sábado	Sem Expediente	
10/out	Domingo	Sem Expediente	
11/out	Segunda-Feira	Montagem 10x Placas + 6x Vigas	2xPL06 + 06xPL01 + 2xPL08 + 4xVP01 + 2xVP04
12/out	Terça-Feira	Arrumar Entrada com Escavadeira para patolar Guindaste para montagem final frontal - Somente acompanhamento	-

13/out	Quarta-Feira	Montagem 20x Lajes com uso do Guindaste	Lajes Alveolares Frontais
14/out	Quinta-Feira	Montagem com Munck Peças Finais 2x Lajes + 4x Vigas + 04xPlacas e 3x Cortinas	2xVP10 + 2XVP09 + 02Lajes Marquise e 02xPL04 + 02xPL04S

APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL GRADUANDO: CLEDSON ALBUQUERQUE SCOMAZZON

ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DO BIM 4D, ASSOCIADO A REALIDADE AUMENTADA NA EXECUÇÃO DE OBRAS PRÉ-FABRICADAS

Este questionário está sendo aplicado a profissionais da construção de obras pré-fabricadas. O objetivo é recolher informações relativas a experiência dos mesmos no canteiro de obras e, qual sua opinião, se em uma obra, fosse aplicado o software BIM 4D.

Eu, _____, declaro estar ciente de que as informações contidas neste questionário serão utilizadas para o Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil. Aceito que minhas opiniões aqui declaradas, bem como meu nome e demais informações descritas, sejam utilizados para este fim.

Nome: _____

Profissão: _____

Tempo de experiência na profissão atual: _____

Marque somente UMA alternativa

01) Qual a maior dificuldade enfrentada hoje, no canteiro de obras?

- a) Recebimento de peças pré-moldadas incorretas (fora da ordem de execução, dimensões das peças...)
- b) Materiais faltantes para a execução da obra
- c) Falta de planejamento, relativo a execução da obra

02) Se fosse disponibilizado um cronograma detalhado, especificando o processo de montagem passo a passo, em sua opinião, geraria ganho para a questão de produtividade (como economia de tempo)?

- a) Sim
- b) Não
- c) Talvez

03) Considere o seguinte cenário: no início de uma obra, você terá acesso a um vídeo que mostra, do início ao fim, o andamento da execução, cronogramas e prazos. Com este vídeo, você terá a chance de entender melhor como deverá ser a execução da obra e esclarecer possíveis dúvidas. Em sua opinião, ver como será o andamento construtivo antes da obra acontecer, é:

- a) Importante para o bom entendimento e andamento da obra
- b) Desnecessário
- c) Indiferente, pois mesmo utilizado esse sistema, não iria influenciar no resultado final

04) Se você tivesse um layout pronto, que exemplificasse os locais determinados para alocação dos materiais em obra antes de sua execução, para, quando a obra começar, tudo já ter seu espaço definido, você consideraria:

- a) Importante
- b) Desnecessário
- c) Mesmo tendo, não influenciaria no resultado final

05) Você acredita que utilizar mais tecnologia nas obras facilita o andamento e agilidade da construção?

- a) Sim
- b) Não
- c) Talvez

06) Na sua opinião, qual das alternativas abaixo mais reduziria o custo x tempo em uma obra?

- a) Utilizar um sequenciamento de montagem, já recebendo da empresa as peças por ordem de execução
- b) Ter um cronograma que evolveria todo o andamento da obra, abrangendo todo passo a passo necessário
- c) Ter o canteiro de obras com layout detalhando de estocagem, facilitando o andamento da montagem

07) Com o software BIM, podemos solicitar a empresa responsável o envio das peças para montagem de acordo com a ordem necessária no canteiro de obras. Assim, as peças irão chegando conforme a etapa de montagem para aquele dia. Sendo possível ser desta maneira, você consideraria:

- a) Importante para evitar o retrabalho e desperdício de tempo
- b) Indiferente, pois a obra vai sendo executada de acordo com as peças disponíveis. Porém, caso falte alguma peça em específico, é necessário comunicar a empresa e aguardar o recebimento
- c) Utilizando esse método, talvez agilizaria a montagem

08) Na sua opinião, o que mais atrapalha o andamento de uma obra hoje é:

- a) Projetos incompatíveis entre si
- b) Falta de logística específica e má organização do canteiro de obras
- c) Recebimento de peças fora da ordem de montagem

09) Sabendo que o software BIM tem o objetivo de fazer o gerenciamento e programação de uma obra, você considera:

- a) Importante utilizar o sistema BIM
- b) Desnecessário utilizar o sistema BIM
- c) Irrelevante utilizar o sistema BIM, pois talvez facilite, talvez não

10) Cite outros fatores que você considera importantes para um bom andamento da obra, visando reduzir o tempo e facilitando a execução:
