

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

RODRIGO PEREIRA DE OLIVEIRA

**USO DO BIM 4D PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL
PRÉ-FABRICADA**

São Leopoldo

2020

RODRIGO PEREIRA DE OLIVEIRA

**USO DO BIM 4D PARA PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA EDIFICAÇÃO INDUSTRIAL
PRÉ-FABRICADA**

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

Orientador: Prof^a. Dr^a. Michele Ferreira Dias Morales

São Leopoldo

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao meu pai Darcy e à minha mãe Juraci pelo bom exemplo que me deram, por sempre me incentivarem a estudar e salientarem a importância disso e por toda educação e caráter que me passaram. Agradeço também à minha irmã Daniela pelo exemplo de alto nível de dedicação aos estudos e à vida profissional e pelo incentivo que sempre me deu. Sem dúvidas de que sem a minha família eu não teria o suporte de seguir em frente e me tornar o profissional que estou me tornando.

Agradeço também à minha namorada, Juliana, que sempre me apoiou, ajudou, estudou comigo e esteve ao meu lado durante o todo o TCC, sendo paciente e abrindo mão de fazer outras coisas para estar ao meu lado quando eu precisava me dedicar aos estudos, sempre me estimulando como pessoa e profissional.

Por fim, agradeço à minha professora e orientadora, Michele Morales, por toda a atenção, dedicação e ajuda, sendo fundamental para o êxito deste trabalho.

RESUMO

Para o cumprimento do prazo, orçamento e qualidade de uma obra de construção civil, se faz necessário que os processos de Planejamento e Controle de Obras (PCO) sejam eficientes e precisos. É sabido que problemas com a documentação de obra reduzem o desempenho produtivo da construção civil, ocasionando desperdício de materiais e mão de obra, e conseqüentemente impactando a qualidade do produto final. As ferramentas de *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, surgem como opção para solucionar tais problemas. Com a utilização dos softwares BIM é possível inserir no modelo virtual diversos tipos de informações, por exemplo, o cronograma, permitindo realizar o acompanhamento e controle de cada etapa da obra, de forma visual para todos os envolvidos. O BIM, quando utilizado nos processos de PCO e envolvendo a dimensão tempo, é denominado com o termo BIM 4D ou modelagem 4D. O presente trabalho estuda a aplicação da modelagem BIM no planejamento logístico e acompanhamento de obras, analisando sua aplicação versus os métodos tradicionais de PCO. 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. A modelagem 4D do cenário real da edificação permitiu levantar os principais problemas de planejamento que ocorreram na execução da obra. Buscando solucionar estes problemas, foram elaborados dois cenários alternativos de execução que evidenciaram os benefícios do uso da metodologia BIM. Como resultados das simulações alternativas, obteve-se menor tempo de execução das atividades de estudo, redução de gastos com locação de equipamento, entre outros. Além disso, foram observados os principais benefícios do uso desta tecnologia, como a melhor visualização e otimização do processo de construção e as principais dificuldades, como o grande consumo de tempo na modelagem.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grau de oportunidade da mudança em função do tempo	21
Figura 2 – Canteiro de obra do empreendimento A	37
Figura 3 – Estrutura de pesquisa	39
Figura 4 – Exemplos dos elementos pré-fabricados modelados no Revit	40
Figura 5 – Modelo BIM do empreendimento no Revit	41
Figura 6 – Modelo 4D e gráfico Gantt do cenário real	47
Figura 7 – Inviabilidade de transporte dos pilares fabricados no pátio	48
Figura 8 – Exemplo raios para transporte lançamento do pilar P9	49
Figura 9 – Estoque de pilares no canteiro de obra – cenário real	54
Figura 10 – Indisponibilidade de locação de equipamento	55
Figura 11 – Falta de peças disponíveis a serem lançadas em locais próximos	56
Figura 12 – Sequência de lançamento mal planejada	57
Figura 13 – Indisponibilidade de locação de equipamento	58
Figura 14 – Etapas de capeamento da laje	60
Figura 15 – Gráfico de Gantt simulação de cenário 1	63
Figura 16 – Gráfico de Gantt simulação de cenário 2	66
Figura 17 – Comparação liberação da etapa 1 para capeamento da laje	67

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Empreendimento A.....	42
--------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Síntese dos benefícios identificados pelos autores	32
Quadro 2 – Síntese das dificuldades identificadas pelos autores	34
Quadro 3 – <i>Softwares</i> utilizados nas pesquisas aderentes e incidência de uso (%).36	
Quadro 4 – Restrições determinadas pelo autor com base na análise da execução real da obra	44
Quadro 5 – Restrições com objetivo de melhorias	45
Quadro 6 – Atividades predecessoras	50
Quadro 7 – Detalhamento do lançamento da estrutura pré-fabricada.....	50
Quadro 8 – Diferença de lançamento entre as peças pré-fabricadas	51
Quadro 9 – Principais problemas identificados no cenário real.....	51
Quadro 10 – Benefícios e dificuldades na utilização da tecnologia BIM observados	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação (%) de cada elemento no custo total da obra	38
Tabela 2 – Cronograma físico financeiro.....	38
Tabela 3 – LOD dos elementos modelados	41
Tabela 4 – Dias improdutivos de cada mês devido à chuva	45
Tabela 5 – Resumo do planejamento do cenário real	46
Tabela 6 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra	49
Tabela 7 – Resumo da locação de guindaste para içamento.....	59
Tabela 8 – Resumo do planejamento das atividades de estudo do cenário proposto 1	61
Tabela 9 – Duração das atividades do cenário proposto 1 versus cenário real	62
Tabela 10 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra	62
Tabela 11 – Resumo da locação de guindaste cenário simulado 1	63
Tabela 12 – Resumo do planejamento das atividades do cenário alternativo 2.....	64
Tabela 13 – Duração das atividades do cenário proposto 2 versus cenário alternativo 1 e cenário real.....	65
Tabela 14 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra	65
Tabela 15 – Resumo da locação de guindaste cenário simulado 2	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CII	Instituto da Indústria da Construção
CPM	Rede de caminho crítico
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
ETO	<i>Engineer to order</i>
LOD	<i>Level of Development</i>
PCO	Planejamento e Controle de Obras
PCP	Planejamento de Controle da Produção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA	12
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3 PROBLEMA	13
1.4 OBJETIVOS	14
1.4.1 Objetivo Geral	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.5 JUSTIFICATIVA	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 PLANEJAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.1.1 Níveis hierárquicos do planejamento	17
2.1.2 Planejamento e os demais setores de uma construtora	18
2.1.3 Controle na construção	19
2.2 BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	22
2.2.1 Vantagens do uso do BIM	25
2.2.2 Level Of Development (LOD)	26
2.2.3 Softwares BIM	29
2.3 AS DIMENSÕES DE USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO BIM.....	29
2.3.1 Aplicação do BIM 4D	30
2.3.1.1 Benefícios do uso do BIM 4D	31
2.3.1.2 Dificuldades do uso do BIM 4D	33
2.4 PRINCIPAIS SOFTWARES UTILIZADOS NA MODELAGEM BIM 4D	34
3. METODOLOGIA	37
3.1 DADOS DO ESTUDO DE CASO	37
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	39
3.2.1 Etapa 1: Modelagem da edificação em BIM	39
3.2.2 Etapa 2: Análise do histórico da obra e demais documentos	42
3.2.3 Etapa 3: Simulação computacional conforme a obra foi executada em BIM 4D	42
3.2.4 Etapa 4: Simulação de cenários alternativos de sequenciamento das atividades	43
3.2.5 Etapa 5: Análise das dificuldades e benefícios do uso do BIM	45

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
4.1 MODELAGEM BIM 4D DO CENÁRIO REAL DE EXECUÇÃO	46
4.1.1 Sequenciamento das atividades de lançamento da estrutura pré-fabricada	50
4.2 ANÁLISE DO CENÁRIO REAL DE EXECUÇÃO ATRAVÉS DO MODELO BIM 4D.....	51
4.3 CENÁRIOS PROPOSTOS	59
4.3.1 Simulação do cenário proposto 1	60
4.3.2 Simulação do cenário proposto 2	63
4.4 ANÁLISE DAS DIFICULDADES E BENEFÍCIOS DO USO DO BIM.....	68
5 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS.....	72
APÊNDICE A – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO REAL EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL ..	77
APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO 1 EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL ..	82
APÊNDICE C – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO 2 EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL ..	87
APÊNDICE D – LINKS PARA OS VÍDEOS DAS SIMULAÇÕES EXPORTADAS DO NAVISWORKS.....	91

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil está diretamente relacionado com o desenvolvimento econômico e social brasileiro, estando ligado com diversos outros segmentos da economia. É classificado como um setor-chave por gerar uma grande demanda por insumos. (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005).

Segundo Polito (2015), com o grande aumento da concorrência e da complexidade dos projetos nos últimos anos, a indústria da construção civil teve a necessidade de buscar mudanças em seus processos construtivos, aumentando a necessidade de mão de obra especializada e melhores práticas de gestão.

Uma das formas de implementar melhorias é através de um processo bem definido e organizado de Planejamento de Controle da Produção (PCP) viabilizando melhor desempenho do sistema produtivo, buscando a diminuição das perdas e ganhos em qualidade do produto final. (FORMOSO, 1991).

Jang, Lee e Choi (2007) ressaltam a importância de se dar mais atenção à logística no planejamento e no gerenciamento da produção, principalmente na construção de obras pré-fabricadas. Os autores ressaltam que é necessário haver planejamento do *layout* do canteiro de obras levando em consideração a grande incerteza e variabilidade do ambiente da construção.

O planejamento e controle logístico de obras são necessários para facilitar a fase de construção, tendo os seguintes objetivos: limitar o transporte de materiais dentro do limite do canteiro; evitar perdas de materiais; e diminuir os danos durante a construção. (AGAPIOU *et al.*, 1998).

Segundo Tommelein e Weissenberger (1999), vários empreendimentos que adotam o uso de sistema de pré-fabricados são obras grandes e complexas. Tais obras demandam mais interação entre os envolvidos na execução dos empreendimentos, aumentando a comunicação entre todas as partes visando uma gestão eficiente do processo construtivo.

Uma forma de garantir esta interação é através de novas tecnologias de modelagem da informação e de gerenciamento para a construção civil. Essas tecnologias proporcionam a integração das equipes envolvidas no desenvolvimento dos empreendimentos e em todas suas fases, favorecendo para que sejam feitas escolhas mais corretas. (NASCIMENTO; SANTOS, 2003).

Tommelein (1994) destaca a importância da modelagem da edificação como ferramenta de auxílio na definição dos fluxos nos canteiros de obras a partir da simulação da movimentação de materiais, equipamentos e do planejamento da distribuição dos materiais ao longo da construção.

Segundo Eastman *et al.* (2014), o *Building Information Modeling* (BIM) que é uma tecnologia que associa informações de um projeto ao modelo 3D, representa um enorme avanço nos projetos de construção devido ao fim do predomínio do desenho, dando lugar a um modelo virtual do empreendimento. Este modelo traz muitos benefícios tanto na etapa de projeto quanto na execução.

Estudos realizados destacam os benefícios do uso dos modelos BIM 4D no planejamento do canteiro de obras, provenientes da possibilidade de realizar simulações da construção e identificar com antecedência problemas logísticos. Com isso, é possível realizar testes de diferentes *layouts* antes de serem executados. (AKINCI *et al.*, 2002; CHAU *et al.*, 2004; HARTMANN *et al.*, 2008).

Visto que diversos autores ressaltam a importância da logística para uma interação eficiente entre os diversos componentes que fazem parte de um canteiro de obras e toda sua dinâmica, percebe-se a necessidade de estudar a utilização de BIM no planejamento e controle logístico de obras. Através da visualização virtual da sequência construtiva em cenários alternativos, será possível analisar e escolher as melhores soluções para execução de uma obra.

1.1 TEMA

O presente trabalho analisa o uso de BIM 4D no planejamento logístico e controle de obras industriais do tipo *engineer to order* (ETO)¹ através de simulações de diferentes cenários de construção com uso de *software* de análise de modelos 3D.¹

Segundo Baccharini (1996), as obras grandes e complexas necessitam de ações, métodos, técnicas e ferramentas apropriadas para um gerenciamento eficiente, visto que as ferramentas convencionais de planejamento se mostram pouco eficazes.

¹ *engineer to order* (ETO)¹ significa engenharia sob demanda. Os clientes exigem da empresa produtos pouco convencionais.

Os modelos 4D têm sido utilizados na análise da sequência das atividades antes de sua construção física. Esta aplicação permite a realização de alterações nos planos a fim de corrigir as falhas encontradas, sejam interferências entre as disciplinas ou inconsistências nos planos. Isto melhora a interação entre a equipe, evita conflitos entre as atividades planejadas, melhora a organização e logística dos canteiros de obra e promove aumento da segurança. (SACKS; TRECKMAN; ROZENFELD, 2009).

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho limita-se a analisar o planejamento da execução da fundação e estrutura pré-fabricada, sendo excluídos da análise a estrutura metálica, vedações laterais, cobertura e os demais acabamentos. A análise da logística envolveu a realidade de uma edificação de tipologia industrial construída na cidade de Gravataí/RS em 2018.

Na elaboração dos cenários alternativos propostos por este estudo, os dias de chuva registrados durante a execução real foram considerados como improdutivos. Não foram consideradas folgas de outra natureza.

1.3 PROBLEMA

Uma das principais causas da ocorrência de perdas na construção civil é a ausência de um planejamento eficiente. Visto isso, é de suma importância que no meio acadêmico sejam elaborados estudos voltados a encontrar soluções para este problema. (ALVES, 2000). O planejamento da construção acompanhado da gestão e controle da produção são os requisitos para se alcançar o melhor desempenho otimizando o fluxo de trabalho, tendo o mínimo de desperdício possível. (SACKS *et al.*, 2010).

No que diz a respeito ao planejamento logístico de canteiros de obras, é comum os gestores definirem a logística do canteiro com uso de desenhos 2D e utilizarem gráficos de barras ou rede de caminho crítico (CPM) na determinação da sequência executiva do empreendimento. (WANG *et al.*, 2004). De acordo com os autores, a decisão do melhor método para a construção e logística do canteiro acaba sendo fundamentada na experiência e intuição dos planejadores. Isto

acontece devido à fragmentação de informações e por não haver um modelo que represente visualmente o canteiro de obras em relação ao tempo.

A tomada de decisões estratégicas se torna uma tarefa ainda mais difícil de realizar quando tomadas com base em informações fragmentadas. Isto é um problema visto que todas as decisões tomadas acerca de um empreendimento estão correlacionadas, ou seja, as consequências de cada definição acarretam diversos outros resultados. (PAPAMICHAEL, 1999).

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal utilizar a modelagem BIM 4D no aperfeiçoamento do planejamento de médio prazo de uma obra industrial do tipo *Engineer to Order* com ênfase na logística do canteiro de obras.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) analisar o histórico de execução de uma obra do tipo ETO coletando os principais problemas ocorridos;
- b) propor a integração entre o planejamento e controle da produção e a logística do canteiro da obra selecionada através do uso da modelagem BIM 4D;
- c) propor simulações de diferentes cenários de execução da atividade de lançamento da estrutura pré-fabricada buscando solucionar os problemas identificados no cenário real da obra;
- d) identificar as potencialidades, benefícios e as dificuldades da utilização da modelagem BIM e da simulação BIM 4D como ferramentas de apoio ao planejamento logístico e controle desta obra;
- e) comparar as reduções de custos com locação de equipamentos obtidos com as simulações dos cenários propostos.

1.5 JUSTIFICATIVA

A realização de estudos que possam explorar o uso das ferramentas tecnológicas a favor de melhorias no planejamento e controle de obras, evitando perdas na construção, é uma possível forma de auxiliar as empresas na redução das perdas e atrasos nas obras. A tecnologia de modelagem 4D possibilita a simulação de decisões, analisando os processos construtivos e alternativas de sequenciamento das atividades, *layout* de canteiro, equipamentos, entre outros benefícios. Integrando a equipe ao longo do empreendimento. (SACKS; TRECKMAN; ROZENFELD, 2009).

Com a aplicação desta tecnologia no planejamento e controle de obras, é possível torná-los mais efetivos e precisos, gerando redução de custos ocasionados por desperdícios de materiais, retrabalhos, movimentação de pessoas e materiais e por mão de obra e equipamentos ociosos, além de promover o aumento da qualidade do produto final.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados assuntos relacionados ao planejamento e controle de obras de construção civil e ao uso da ferramenta BIM 4D como apoio ao processo de planejamento.

2.1 PLANEJAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Varalla (2003), planejar é o prognóstico de decisões a serem tomadas junto com a estipulação de metas e a definição dos recursos necessários para atingi-las. Para a realização do planejamento é preciso que haja a interação com todos os demais setores de uma construtora, fornecedores, subcontratados de serviços e demais envolvidos na execução de uma construção. (PINHEIRO, CRIVELARO, 2014).

Goldman (2004) considera que é de suma importância para o êxito de um empreendimento o seu planejamento. O autor também ressalta que um empreendimento quando bem planejado, reduz os possíveis atrasos em sua execução e é através dele que se realiza toda a programação físico-financeira, buscando reunir a maior quantidade possível de informações de vários setores da organização, considerando todos os detalhes fundamentais.

Diversas atividades compõem o planejamento, entre elas a definição da equipe que irá desenvolvê-lo, das informações, da determinação do nível de detalhe que se quer alcançar, prazos, recursos, especificações e outros dados que serão utilizados. (VARALLA, 2003).

Para que o planejamento e controle de um empreendimento sejam eficientes é preciso que a empresa seja bem organizada, principalmente no que diz respeito aos seus materiais, mão de obra, equipamentos, entre outros. (GOLDMAN, 2004). Assed (1986) enfatiza a necessidade de uma equipe de bem preparada e com domínio sobre as ferramentas de planejamento, que terá o dever de acrescentar melhorias na utilização das mesmas e apoiar os demais setores neste uso.

Goldman (2004) também afirma que é de grande importância que as especificações técnicas e de acabamento sejam claramente definidas antes do início da execução do empreendimento, ou seja, na fase de planejamento. Isto se justifica porque as especificações determinam métodos e técnicas de execução dos serviços

e quando mal detalhadas prejudicam a elaboração do cronograma físico-financeiro, fechamento de contratos e aumentam a quantidade de improvisações pelo engenheiro de obra.

Segundo Goldman (2004) seja o setor de planejamento isolado ou centralizado (para atender diversas obras simultaneamente), as informações mais pertinentes e relevantes a serem recebidas por ele são:

- a) projeção dos gastos: para diminuir a discrepância entre o executado e o cronograma físico-financeiro se informa ao setor de planejamento a projeção dos gastos futuros para que se tenha maior precisão dos prazos e custos da obra.
- b) produção: para a efetiva gestão do andamento do cronograma físico-financeiro alimentam-se as planilhas elaboradas pelo setor de planejamento com os dados referentes ao que foi produzido em obra. Comparam-se também estes dados com as outras ferramentas de planejamento.
- c) histórico técnico: a partir da coleta de dados e informações sobre alterações e melhorias realizadas nos materiais, serviços, subcontratações, equipamentos, entre outros pelo setor de planejamento, é elaborado o histórico técnico. Estas informações podem ser extraídas no controle da execução da obra e após seu término, são muito úteis para futuras obras da empresa.

2.1.1 Níveis hierárquicos do planejamento

O planejamento de uma obra deve ser realizado de maneira que todos os níveis gerenciais da organização participem e estejam sempre conectados uns aos outros. (GHINATO, 1996). O nível de detalhamento deve estar alinhado ao nível hierárquico para o qual este foi desenvolvido (FORMOSO, 1991), sendo que este detalhamento cresce na medida em que o planejamento fica próximo de sua execução. (LAUFER e TUCKER, 1988).

Bernardes (2003) divide o planejamento em três níveis hierárquicos: planejamento estratégico ou longo prazo, planejamento de médio prazo ou tático e planejamento de curto prazo ou operacional. A seguir são descritos cada um dos níveis:

- a) planejamento estratégico ou longo prazo: neste nível são determinados o escopo e as metas a serem alcançadas, tomando-se decisões focadas nas questões de longo prazo. (BERNARDES, 2003). Cabe à diretoria da empresa estabelecer as metas, determinando-se as datas mais significativas da obra. (VARALLA, 2003). Tais metas seguem os critérios pré-determinados pelo cliente ou pelo proprietário do empreendimento, onde são definidos, o prazo de obra, parcerias, fontes de financiamento, entre outros. (PINHEIRO, CRIVELARO, 2014).
- b) planejamento de médio prazo ou tático: nível de transição que faz a junção entre o planejamento de longo prazo com o planejamento operacional. Esta etapa não está mais à cargo da diretoria e sim da engenharia, nela se desenvolve o plano geral e se identificam os recursos mais importantes para realizar o cumprimento das metas de longo prazo. (VARALLA, 2003). Tais metas seguem os critérios pré-determinados pelo cliente ou pelo proprietário do empreendimento, no qual são definidos o prazo de obra, parcerias, fontes de financiamento etc. (PINHEIRO, CRIVELARO, 2014).
- c) planejamento de curto prazo ou operacional: pode-se relacionar este nível com as medidas escolhidas visando o curto prazo para alcançar as metas definidas nos níveis anteriores. (BERNADES, 2003). Distribuem-se as responsabilidades de cada atividade a ser executada. (VARALLA, 2003). É necessário alto nível de detalhamento das atividades, programação da execução e seus prazos. (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

Pinheiro e Crivelaro (2014) mencionam que pode haver a necessidade de subdividir os níveis hierárquicos em mais níveis intermediários caso a complexidade da obra exija.

2.1.2 Planejamento e os demais setores de uma construtora

O setor de planejamento técnico em uma organização tem a finalidade de compilar as diversas informações vindas de todos os setores interligados com o planejamento de uma edificação. Goldman (2004) descreve o relacionamento entre o planejamento e os principais setores que compõem a estrutura necessária para execução de um empreendimento da seguinte forma:

- a) setor de arquitetura: o planejamento tem a função de alinhar este setor com as demais disciplinas que fazem parte do empreendimento como projeto estrutural, elétrico, hidro sanitários, entre outros. O setor de arquitetura também atua na especificação de materiais que impacta o planejamento, uma vez que más escolhas de materiais, serviços, equipamentos, subcontratadas, entre outros, acarretando prejuízos aos custos e prazos;
- b) setor financeiro: Com o custo de execução com base no orçamento, cronograma físico-financeiro e outras ferramentas de planejamento, se obtêm o estudo de viabilidade econômica do empreendimento, que é entregue para o setor financeiro. Previsões de despesas em fases específicas da obra e documentações técnicas necessárias são responsabilidades do setor de planejamento, como para solicitação de crédito de financiamento do empreendimento;
- c) setor de contabilidade: os dados reais de custos de execução da edificação fornecidos para o planejamento partem deste setor. A partir destes dados, o planejamento faz toda a gestão necessária destes custos;
- d) setor de compras: o planejamento atua de forma fundamental neste setor, pois tem a função de analisar as propostas orçamentárias de subcontratação de serviços e compra de materiais, buscando garantir o atendimento das especificações técnicas como qualidade e desempenho;
- e) setor de engenharia de campo: este setor diz respeito à etapa de execução do empreendimento, cujo êxito depende diretamente de um planejamento bem realizado. A colaboração deste setor com o planejamento interfere nos citados anteriormente.

2.1.3 Controle na construção

No dia a dia da execução de uma obra são realizadas diversas atividades e serviços simultaneamente, sempre ocorrendo situações diferentes. Sendo assim, é muito fácil o aparecimento de interferências e incompatibilidades. Para se evitar isto, é preciso uma coordenação e controle efetivo destas atividades e serviços. (ASSED, 1986). Isto porque, conforme Mattos (2010) o planejamento não é uma ciência exata, caso fosse, o cronograma desenvolvido inicialmente teria a precisão

suficiente para todo o gerenciamento da obra e o controle não seria necessário. O planejamento na realidade é dinâmico e imprevisível, justificando a necessidade deste controle efetivo da execução da obra. Os tópicos a seguir mostram as razões mais comuns que reforçam a importância do acompanhamento da obra segundo Mattos (2010):

- a) as atividades nem sempre são iniciados na data prevista;
- b) as atividades nem sempre são concluídas na data prevista;
- c) ocorrem alterações de projeto que impactam na execução das tarefas;
- d) ocorrem flutuações de produtividade que alteram a duração das atividades;
- e) a equipe decide mudar o plano de ataque da obra;
- f) a equipe decide mudar a sequência executiva de alguns serviços;
- g) a equipe decide mudar o método construtivo de alguma parte da obra;
- h) ocorrem fatores que, embora previsíveis, não são mostrados de maneira precisa no cronograma, como chuvas, cheias, entre outros;
- i) ocorrem fatores imprevisíveis que interferem na execução de serviços: greves, paralisações, interferências de terceiros, acidentes entre outros;
- j) ocorrem atrasos no fornecimento de material;
- k) o planejador descobre que faltam atividades no planejamento (escopo incompleto), ou que há atividades a mais (escopo incorreto).

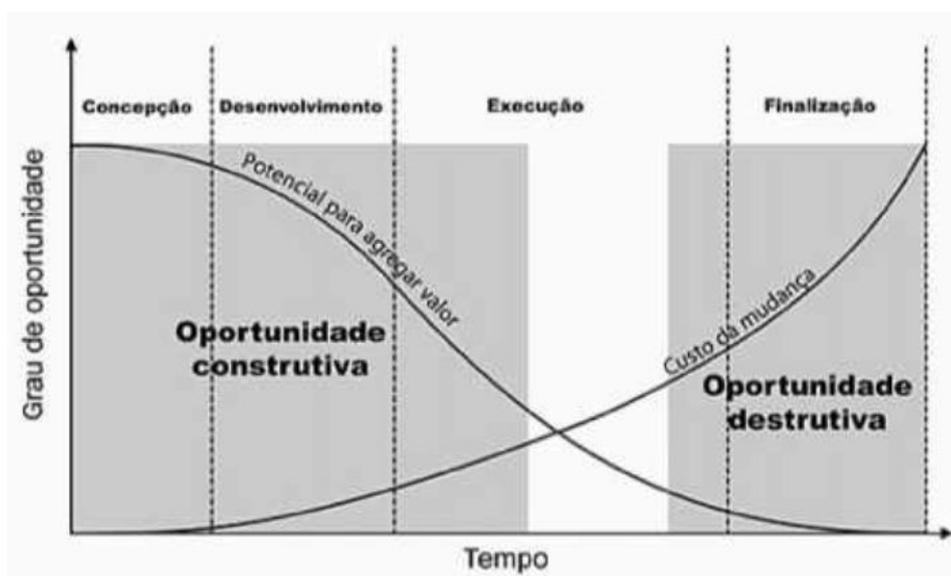
O controle da obra é realizado com base no planejamento realizado anteriormente e com o acompanhamento constante do cronograma físico-financeiro. (GOLDMAN, 2004). Tal acompanhamento é feito a partir de ferramentas que relacionam o executado com o planejado, mostrando suas inconsistências. (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014). O objetivo deste controle é dar suporte para a realização de análises financeiras de balanço patrimonial (físicas, econômicas e contábeis), visando a sobrevivência da empresa, ou seja, determinar as melhores decisões a serem seguidas. (VARALLA, 2003).

A análise das informações obtidas através do acompanhamento das atividades e serviços em andamento, viabilizam a elaboração do planejamento a curto prazo e possibilitam a realização de correções, alterações e melhorias com antecedência. (GOLDMAN, 2004).

Segundo Mattos (2010), pela negligência de planejamento e controle, os gestores da obra acabam tomando decisões tardias na tentativa de corrigir alguma atividade ou serviço em andamento ou no próprio planejamento, não conseguindo agir a tempo de evitar impactos nos custos e prazos. O controle permite uma visão em tempo real do andamento da obra, permitindo a agilidade e maior segurança na tomada de decisões gerenciais. Tais decisões vão desde a mobilização e desmobilização de equipamentos, alteração na velocidade de serviços, de métodos de execução, terceirização de serviços, entre outros. A relação entre a qualidade do controle e o planejamento da obra é diretamente proporcional, justificando a importância da atenção dada à estas etapas. (GOLDMAN, 2004).

A ação no momento ótimo onde o custo é praticamente insignificante é comumente chamada de oportunidade construtiva, que significa o período ótimo em que alterações na execução de serviços e no planejamento, geram custos relativamente baixos. Quando o planejamento é precário, são tomadas decisões por parte da equipe que não recuperam mais o atraso. (MATTOS, 2010). A Figura 1 ilustra a relação entre o tempo para esta tomada de decisão e o impacto no custo.

Figura 1 – Grau de oportunidade da mudança em função do tempo



Fonte: Mattos (2010, p. 22).

Os três aspectos mais relevantes de um projeto são: controle do tempo, do custo e da qualidade. No que diz respeito ao controle do tempo, o método tradicional de planejamento utiliza ferramentas visuais como gráficos de barras do tipo gráfico de Gantt. Contudo, para poder analisar a velocidade ou taxa de produção de

atividades e serviços executados na obra são necessários a utilização de outras ferramentas além dos gráficos de barras, como por exemplo, curvas de produção. (HALPIN; WOODHEAD, 2004).

A fase de controle da obra mantém constante comunicação com os setores de arquitetura e projetos porque, mesmo com todos os projetos e especificações bem definidos e detalhados, ocorrem muitas alterações no decorrer da execução da obra. Essas mudanças acontecem por diversos motivos, como descobrimento de novas técnicas de execução de serviços, surgimento de novos materiais ou pela inexistência de determinados materiais no mercado. Também podem ser motivadas por necessidades da empresa, seja por redução de custos, alterações no ritmo de execução e por exigências do cliente. É importante que o setor financeiro receba as informações de previsão regularmente para evitar deformidades exageradas nas previsões de médio e longo prazo. (GOLDMAN, 2004).

O profissional que irá efetivamente realizar o controle dos diversos serviços realizados na obra deve ter ou buscar o conhecimento referente a eles. Deve elencar as prioridades e importâncias a serem controladas com base nos detalhes disponíveis no planejamento para que não se desperdice tempo controlando etapas que não trazem benefícios reais. (GOLDMAN, 2004).

Não existe um método de controle padrão para qualquer tipo de serviço, deve-se analisar e buscar o melhor método para cada caso porque nem sempre um sistema rico em informações traz melhores resultados. (GOLDMAN, 2004).

2.2 BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na década de 80 a empresa de *software* de *design* e de conteúdo digital Autodesk inovou os métodos de trabalho dos profissionais da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) com a inserção do AutoCAD no mercado mundial. (PITARCH, 2015). O sistema *Computer Aided Design* (CAD) ou Desenho Assistido por Computador entraram no mercado para colaborar com a representação gráfica 2D e 3D de produtos. (BARISON; SANTOS, 2011).

Após o CAD foram desenvolvidas novas tecnologias de modelagem da edificação, como o BIM. A metodologia BIM possibilita que os profissionais criem modelos tridimensionais ricos de informação, gerando maior eficiência no planejamento, *design*, construção e manutenção de edifícios e infraestrutura. Esta

metodologia é composta pela combinação de políticas, processos e tecnologias permitindo desde o gerenciamento e controle de projeto de uma edificação a ensaiar seu desempenho durante todo seu ciclo de vida. (CBIC, 2016a).

Com o desenvolvimento tecnológico dos *softwares* de modelagem 3D foi possível associar informações aos elementos geométricos dentro do modelo. Isso aumentou o entendimento sobre o que estava sendo desenvolvido e a finalidade do projeto. (FOUQUET; SERRA, 2011).

Ainda na década de 80, o BIM estava disponível no comércio, especificamente, como uma ferramenta para a indústria AEC, alcançando seu ápice de popularidade entre 2007 e 2010 com o aumento significativo de diversos recursos relacionados a essa nova tecnologia. (MCCOOL; HARDIN, 2015).

De acordo com Goldman (2004, p. 121):

Com o advento dos computadores eletrônicos, os sistemas de controle se desenvolveram consideravelmente. Os computadores permitem reduzir, em segundos ou minutos, dezenas ou centenas de horas de trabalho de profissionais, com precisões difíceis de serem superadas.

Os *softwares* BIM se diferenciam dos *softwares* CAD 3D por permitirem a inserção de objetos parametrizados ao modelo virtual que carregam características de elementos reais da construção. Isto possibilita a análise e testes do *design*, enquanto os elementos no CAD 3D não representam objetos com forma, função e comportamento. (EASTMAN *et al.*, 2014). O *American Institute of Architects* (AIA) define o BIM como “uma tecnologia baseada em um modelo que está associado a um banco de dados de informações sobre um projeto”. (AIA, 2013, p. 1 apud Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), 2016, p. 23).

O BIM conhecido atualmente é baseado na tecnologia de modelagem paramétrica fundamentado em objetos para os sistemas da indústria mecânica elaborado pela *Parametric Technologies Corporation* nos anos 80. (EASTMAN *et al.*, 2014).

No cenário atual dos projetos de construção civil, geralmente cada profissional da equipe dirige o foco de sua atenção apenas às suas obrigações referentes ao projeto. Uma equipe trabalhando em conjunto têm seus objetivos direcionados para além de suas próprias obrigações, abrangendo uma visão sobre como usar os modelos ricos em informações para descobrir opções e cenários que possibilitam o desenvolvimento de projetos mais assertivos e com riscos reduzidos.

O BIM traz a ideia de construir virtualmente uma edificação permitindo que toda a equipe de profissionais ligados ao projeto possa analisar e realizar melhorias e alterações com muito menor custo do que se fossem realizadas durante a construção física do projeto. (MCCOOL; HARDIN, 2015).

Quando uma empresa de construção decide começar a usar ferramentas BIM no desenvolvimento de seus projetos, acaba tendo que enfrentar certas dificuldades e dúvidas. Maccool e Hardin (2015) relacionam o uso bem-sucedido do BIM a três pilares fundamentais dentro da organização:

- a) processos: muitas empresas insistem em implementar o uso e novas tecnologias junto com os procedimentos que sempre utilizaram, sem realizar nenhuma mudança. Para obter sucesso no uso do BIM a organização precisa considerar as consequências desta implementação, realizando uma análise dos processos e fluxos de trabalho atuais. Com isso, é possível identificar quais mudanças são necessárias para obter resultados mais eficientes, evitando desperdícios e frustrações. O BIM quando utilizado com os processos corretos pode agregar um enorme valor para a organização;
- b) tecnologias: este pilar refere-se à escolha de qual *software* BIM usar e, para isso, existem estratégias que podem ser seguidas. A primeira estratégia é a menos invasiva para a organização, consiste em testar pouco a pouco as ferramentas selecionadas, interagindo com seus sistemas atuais, até chegar ao momento em que ficarão apenas as melhores ferramentas e as demais deixarão de ser utilizadas. A segunda estratégia seria uma troca brusca de ferramentas, a empresa faz um estudo de novas ferramentas para implementar e seleciona as que serão substituídas.
- c) comportamentos: o terceiro e último pilar é o mais difícil de erguer por se tratar de uma mudança na cultura de trabalho em equipe da organização. A resistência à mudança acarreta dificuldades da equipe na escolha e aplicação de novas ferramentas e tecnologias que poderão se tornar mudanças significativas no processo. Já um ambiente onde existe um grupo com atitude e “mente aberta” para a inovação gera uma ação perseverante de suporte para efetuar análises e uso bem-sucedido das ferramentas BIM.

2.2.1 Vantagens do uso do BIM

O BIM por se tratar de projetos em arquivos eletrônicos, traz vantagens como facilidade no compartilhamento da última revisão de cada projeto, cálculos geométricos e distâncias e o manejo dos desenhos com aumento da imagem em relação ao uso tradicional de plantas impressas. Além disso, as plantas impressas exigem uma organização que mantenha sempre um fluxo perfeito das informações, garantindo que toda a equipe esteja utilizando a versão mais atualizada do projeto, como o uso de listas mestras. (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

Sabe-se que os projetos criados em CAD 2D não concedem uma boa visualização e total compreensão do projeto que está sendo desenvolvido, por permitir apenas a visualização 2D. Com a tecnologia 3D podemos ter a dimensão perfeita do que está sendo desenvolvido, independente da complexidade do projeto ou do nível de conhecimento de quem está visualizando. É somente com a visualização correta do que está sendo desenvolvido que se pode garantir a eficácia do entendimento do projeto, facilitando os processos de comunicação e iteração entre todos os interessados. (CBIC, 2016a).

Para garantir a qualidade e totalidade das soluções projetadas e de toda a documentação do processo, o BIM tornou os objetos paramétricos e inteligentes, fazendo com que se mantenham sincronizados em relação a outros objetos e ao ambiente que se encontram, interpretando e alterando dimensões de seus componentes sem precisar que alguém alimente informações no programa. Além disso, as soluções BIM alteram todas as demais formas de visualização conforme ocorrem alterações no modelo, sejam tabelas, relatórios ou desenhos, trabalhando como gestores de bancos de dados. (CBIC, 2016a).

A extração automática dos diferentes quantitativos (custos, materiais, entre outros) de um projeto é uma das ferramentas mais utilizadas do BIM, pois ela assegura maior coerência, exatidão e agilidade ao acesso das informações, que podem ser divididas e organizadas conforme o planejamento do projeto. (CBIC, 2016a).

Os projetos feitos através da tecnologia CAD também não permitem fazer simulações e ensaios virtuais da construção. Os modelos BIM tornaram isto uma realidade, permitindo realizar análises estruturais, análises energéticas (simulação de consumo de energia), estudos térmicos e termodinâmicos, estudos de ventilação

natural, estudos de impactos ambientais como níveis de emissões de CO₂ e outros. (CBIC, 2016a).

Alguns dos problemas associados ao projeto 2D são as falhas de compatibilização entre as diferentes disciplinas de projeto, ou ainda a má interpretação da forma arquitetônica desejada pelo projetista. O BIM possui ferramentas que detectam automaticamente as interferências entre os objetos do modelo. Isto permite com que as equipes responsáveis por cada uma das diferentes disciplinas possam ter acesso aos relatórios de interferências. Estes relatórios são emitidos automaticamente e permitem solucionar estes problemas ainda na fase de projeto, tendo uma economia de custos muito maior do que se fosse solucionado na fase de execução. (CBIC, 2016a).

Durante a execução de uma obra, imprevistos e mudanças no que foi planejando inicialmente são quase inevitáveis. O BIM auxilia na diminuição dos problemas que podem ocorrer devido a essas mudanças, pois através da geração automática de documentos e relatórios, permite que toda a equipe envolvida no projeto fique mais informada sobre os acontecimentos. Esta rapidez possibilita que sejam feitas as adequações necessárias antecipadamente, proporcionando maior sincronia entre a execução da obra e o planejado. (CBIC, 2016b). Isto também facilita a elaboração do projeto *as built* (como construído) diretamente no projeto original, em sincronia com as alterações na execução da obra. (PINHEIRO; CRIVELARO, 2014).

Outra vantagem significativa do uso do BIM é no auxílio ao desenvolvimento de obras de alta complexidade. Seja esta complexidade devido às formas geométricas que desafiam as técnicas de construção, as soluções tecnológicas de subsistemas construtivos, logística para o cumprimento de prazos extremamente curtos e/ou coordenação de várias frentes de trabalho ao mesmo tempo. (CBIC, 2016b).

2.2.2 Level Of Development (LOD)

Os profissionais da indústria da AEC têm como referência as especificações e padronizações desenvolvidas pelo AIA no que diz respeito ao Nível de Desenvolvimento - *Level of Development* (LOD) para elaboração de modelos de informação da construção (ou modelos BIM). Tais especificações iniciaram no ano

de 2008 com o *AIA Document E202* e desde então são desenvolvidas novas versões que auxiliam os profissionais na implantação do BIM. O conteúdo destes documentos busca auxiliar e padronizar o uso do LOD e deixar mais claro a relação entre o Nível de Desenvolvimento e cada etapa do projeto. (NOBLE; KENSEK, 2014).

O LOD é uma ferramenta de comunicação ou colaboração entre os membros de uma equipe que trabalha com um modelo da construção, resolvendo problemas de má interpretação do modelo. Isto acontece porque o LOD informa para quem não é o autor da modelagem o quanto a informação é confiável. (CBIC, 2016b).

Existem diferenças básicas entre o nível de detalhe e o nível de desenvolvimento de um modelo da construção. O nível de detalhe refere-se ao quanto um elemento do modelo foi detalhado graficamente. Já o nível de desenvolvimento está relacionado com a informação atribuída e analisada do elemento modelado, em outras palavras, seria o grau de confiabilidade do elemento. (AIA, 2013). O LOD não se refere à complexidade gráfica do modelo, e sim a riqueza dos dados atribuídos aos elementos. Também especifica os requisitos mínimos dimensional, quantitativo, qualitativo, e os outros dados incluídos em um elemento modelado. (NOBLE; KENSEK, 2014).

Um mesmo modelo BIM pode conter elementos com diferentes níveis de LOD dependendo da aplicação e do uso que se deseja. (NOBLE; KENSEK, 2014). Como exemplo, durante a fase de projeto, normalmente o detalhamento da estrutura da edificação está muito mais avançado do que o detalhamento de seu interior, tendo a estrutura da edificação um LOD superior ao dos elementos que compõem o seu interior. Neste caso, o modelo poderá apresentar muitos elementos em LOD 100 e no LOD 200, mas também poderá incluir elementos no LOD 300 e superiores. Sendo assim, dificilmente se terá um modelo com apenas um LOD para todos os seus elementos. (AIA, 2013).

A AIA (2013) especifica o LOD em 5 níveis de abrangência progressivamente detalhados e cumulativos, ou seja, um elemento progride para determinado LOD apenas quando todos os requisitos estabelecidos na definição forem atendidos e inclui todos requisitos dos LOD's anteriores. (AIA, 2013). Estes níveis são descritos a seguir:

- a) LOD 100: define que os elementos devem ser representados no modelo na forma de símbolos ou outra representação genérica qualquer. Devido

ao baixo nível de riqueza de informação associada ao modelo, é possível realizar apenas análises conceituais dos elementos. Referente ao estudo de cronograma de obra, o modelo pode ser usado para o planejamento a longo prazo. Pode-se dizer que o LOD 100 seria a etapa primária do projeto. (AIA, 2013; NOBLE; KENSEK, 2014).

- b) LOD 200: define que um sistema, objeto ou organização genérico irá representar os elementos do modelo. Geometria, quantitativo, locação e localização são aproximadas. Informações não gráficas também podem ser associadas aos elementos do modelo. (AIA, 2013).
- c) LOD 300: define que os elementos e sistemas no modelo devem incluir com precisão os dados geométricos, quantidade e coordenadas conforme projetos. Sendo assim, tais dados podem ser medidos diretamente no próprio modelo, sem a necessidade de recorrer a demais projetos ou referências. Informações não gráficas também podem ser associadas aos elementos do modelo. Permitindo assim a orçamentação do empreendimento através do modelo da construção. Este nível de desenvolvimento agrega maior precisão e detalhe ao cronograma. (AIA, 2013).
- d) LOD 350: este nível abordado pelo BIMForum (2013), que não faz parte dos níveis desenvolvidos pela AIA, tem sua inclusão justificada pela necessidade de se ter uma compatibilização entre as disciplinas, evitando assim interferências e conflitos dos elementos entre si e o *layout* do modelo, incluindo referência fornecedor do elemento ou sistema. Este nível possui maior nível de detalhe que o LOD 300, mas não tanto quanto o LOD 400.
- e) LOD 400: além das especificações do LOD 300, o LOD 400 inclui dados detalhados que permitem a fabricação, montagem e instalação dos elementos e sistemas do modelo. (CBIC, 2016b).
- f) LOD 500: O nível mais alto de desenvolvimento requer que o elemento ou sistema representado no modelo tenha dados precisos verificados in loco. Além disso, os elementos podem carregar dados referentes ao seu uso, operação e manutenção. (NOBLE; KENSEK, 2014).

Segundo Leite *et al.* (2011), a escolha do LOD a ser usado se dá através da análise da proposta de uso do modelo, ou seja, sua aplicação. Como as diferentes

disciplinas a serem modeladas precisam de diferentes níveis de detalhamento do modelo, surgem dificuldades no uso de um mesmo modelo da construção por diversas contratadas. Esta é uma dificuldade do uso do BIM pelas empresas de construção. (HARTMANN; GAO; FISCHER, 2008).

2.2.3 Softwares BIM

Os *softwares* mais utilizados na modelagem BIM são (EASTMAN et al., 2008;

- a) Autodesk Revit: é um software criado com a tecnologia BIM voltado para a arquitetura, urbanismo, engenharia e design, permitindo o desenvolvimento mais ágil e rico em informações de projetos de construção. O programa permite a modelagem da estrutura da edificação e todas as disciplinas envolvidas, como hidráulica, elétrica, entre outras, abrangendo as áreas de arquitetura, estrutura e sistemas. Também permite a criação da documentação em todas as fases de projeto.
- b) Graphisoft ArchiCAD: esta plataforma é voltada para o projeto arquitetônico, não abrangendo os demais sistemas. Oferece um processo eficiente de projeto e documentação. É a ferramenta BIM mais antiga no mercado.
- c) Bentley Architecture: exige menos esforço de *hardware* na operação da ferramenta. Oferece diversas extensões de aplicações relacionadas aos processos da construção.

2.3 AS DIMENSÕES DE USO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO BIM

A partir do aumento de informações inseridas no modelo da construção tridimensional, é possível atingir outras dimensões de utilização como, tempo (4D), custo (5D), operação (6D), sustentabilidade (7D) e segurança (8D). (SMITH, 2014). A seguir estão os vários subconjuntos de BIM comumente descritos em termos de dimensões de aplicação:

- a) BIM 4D: inserção de informações e dados referentes ao tempo no modelo tridimensional. Esta junção de modelagem com planejamento permite simular o processo de execução das atividades e serviços antes da construção física do projeto. (SMITH, 2014). Esta previsão possibilita a

análise e determinação das estratégias de planejamento mais eficientes. (MOTTER; CAMPELO, 2014).

- b) BIM 5D: integração do modelo 3D com informações referentes a custos de materiais e mão de obra permitindo a elaboração de orçamentos. (SMITH, 2014). Esta extração de quantitativos diretamente do modelo tridimensional, reduz erros de orçamento causados pela utilização da escala no projeto. (ALDER, 2006).
- c) BIM 6D: o modelo BIM da edificação possui uma descrição minuciosa de seus componentes de construção e dos serviços de engenharia. Esta descrição integrada permite abranger o BIM para a gestão de instalações da edificação. (SMITH, 2014).
- d) BIM 7D: para gerar esta dimensão deve haver uma junção de elementos de sustentabilidade à definição do BIM. Esta etapa é responsável pela simulação e análise de consumo energético da edificação ainda na fase de projeto. Com isso, é possível escolher as opções de sistemas e instalações com maior desempenho e sustentabilidade. (BONENBERG; WEI, 2015).

2.3.1 Aplicação do BIM 4D

A junção da dimensão tempo com o modelo tridimensional da edificação caracteriza um modelo BIM 4D. Para ser possível a visualização da continuidade de execução, as tarefas que fazem parte de um cronograma da construção civil são ligadas aos elementos do modelo tridimensional. Dessa maneira os responsáveis pela gestão da edificação terão um melhor entendimento do processo de produção a partir da visualização da sequência de construção. (KYMMELL, 2008).

Saini e Mhaske (2013) e Baia e Luke (2014) defendem que o uso do BIM 4D possibilita a resolução dos problemas mais comuns provenientes do método tradicional de Planejamento e Controle de Obras (PCO), pois une em uma única plataforma o modelo 3D com o seu planejamento. Além disso, a tecnologia BIM reproduz virtualmente o progresso da construção, proporcionando a todos integrantes da equipe uma troca de informações mais sólida através da interoperabilidade do modelo. (SHEN *et al.*, 2010).

Segundo Tommelein (2003), os modelos 4D podem ser utilizados para diversos fins, como por exemplo:

- a) visualização da sequência de construção: na fase de concepção é útil para a análise e verificação da geometria dos elementos em relação a outros componentes do modelo da construção. Durante a execução da obra permite o acompanhamento e controle do planejamento e alterações do projeto. Sendo útil também para o *marketing*, pois permite que o comprador visualize o produto e sua construção antes de efetuar a compra;
- b) análise de opções: permite a simulação de logística através da substituição dos elementos da construção e avaliação do impacto.

Os métodos mais conhecidos de análise do planejamento não capturam corretamente os componentes espaciais que estão relacionados às atividades de construção, nem sequer, fazem alguma ligação entre o projeto e o modelo de construção. E por esse motivo, acaba tornando a programação uma tarefa manual muito extensiva e, que muitas vezes, perde sincronia com o projeto, fazendo com que os empreendedores tenham dificuldades de entender a programação e o impacto causado na logística do canteiro obras. (EASTMAN *et al*, 2014).

2.3.1.1 Benefícios do uso do BIM 4D

Com a possibilidade de simular e analisar diversas vezes o planejamento, o profissional consegue determinar o método de execução mais eficiente. Eastman *et al*. (2014) destaca os principais benefícios do uso do BIM 4D que são descritos a seguir:

- a) comunicação: usando o BIM 4D, que consegue demonstrar dados temporais e espaciais de um cronograma, os profissionais conseguem comunicar visualmente o processo construtivo que foi planejado por todos aqueles interessados.
- b) logística do canteiro: os profissionais de planejamento podem fazer análises no *layout* do canteiro de obras otimizando acesso a áreas de armazenamento. Evitando assim interferências entre diferentes serviços simultâneos devido a locação de equipamentos de grande porte, veículos, trailers, entre outros.

- c) administração de disciplinas: os profissionais podem organizar e administrar a movimentação esperada no tempo e espaço das disciplinas no canteiro de obras.
- d) comparação do planejado e acompanhamento da construção: os gerentes podem realizar o controle entre o planejado e o executado, identificando facilmente atrasos nas atividades.

O estudo realizado por Silva, Crippa e Scheer (2019) categorizou e mensurou os benefícios particulares dos modelos 4D através de questionamentos à profissionais que utilizam esta tecnologia, considerando como dificuldades os problemas enfrentados pelos envolvidos no projeto ao usar a tecnologia BIM, de acordo com o Quadro 1. Dentre os principais benefícios elencados, os autores observaram que o uso do BIM 4D para o PCO traz soluções para a maioria dos problemas enfrentados no uso do método tradicional, ajudando na integração de sistemas de comunicação, simulação do processo construtivo e redução de retrabalhos inerentes da interoperabilidade. O BIM 4D serve como um suprimento de diretrizes, produzindo ganhos no desempenho do processo tradicional de PCO. (SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019).

Quadro 1 – Síntese dos benefícios identificados pelos autores

Recorrência	Benefícios
44%	Otimização do processo construtivo
34%	Melhoria da comunicação através da integração
28%	Redução do retrabalho
25%	Redução do tempo de obras
25%	Análises e alocação de recursos mais eficientes associados à estimativa de produtividade
22%	Simulações do processo construtivo
19%	Otimização do cronograma
19%	Melhoria na visualização e interpretação do cronograma de obras
16%	Integração e automação do sistema de monitoramento
16%	Controle virtual de obras
16%	Melhoria do arranjo físico e logístico do canteiro de obras
16%	Deteção de incompatibilidades
16%	Extração de quantitativos automática
13%	Criação de base de dados detalha e consistente
6%	Coordenação em 3D
6%	Auxilia na identificação de recursos sobrecarregados

Fonte: Adaptado de Silva, Crippa e Scheer (2019).

2.3.1.2 Dificuldades do uso do BIM 4D

O BIM se tornou uma enorme tendência no ramo da construção civil por todas as vantagens que ele proporciona, apesar disso existem alguns aspectos que devem ser analisados na ferramenta. Ainda são poucos profissionais que utilizam BIM atualmente, um dos fatores para isto é a dificuldade de entendimento da metodologia e das vantagens que ele realmente pode trazer para o dia a dia na obra. Isso acaba fazendo com que as empresas, e os próprios profissionais resistam à adoção desta tecnologia. (CBIC, 2016a).

Esta tecnologia é relativamente nova e por esse motivo existem poucos profissionais qualificados que estejam aptos no mercado. Isto faz com que as empresas precisem investir muito em treinamentos, consultorias e na compra de um novo *software* de tecnologia BIM. Além disso, podem ocorrer problemas de integração com outros *softwares*, tornando impossível sua utilização em alguns projetos. (CBIC, 2016a).

Para Koo e Fischer (2000) alguns fatores que impedem a aceleração da adoção de modelos 4D por grande parte das empresas da indústria AEC são:

- a) Necessidade de mecanismos para visualização do andamento das atividades internas da edificação;
- b) Limitações na identificação de interferências entre objetos e atividades no espaço e tempo pelos usuários;
- c) Inexistência de análise de dados no modelo referentes ao tamanho das equipes, equipamentos, espaços de trabalho, entre outros;
- d) Ainda há pouca análise e poucos estudos elaborados por profissionais do setor com a finalidade de analisar e avaliar estratégias para representação e análise de modelos 4D;
- e) Falta de padrões de visualização acordados para representação das atividades e elementos da construção.

O estudo de Silva, Crippa e Scheer (2019) também analisou e elencou as dificuldades particulares dos modelos 4D, considerando como dificuldades os problemas enfrentados pelos envolvidos no projeto ao usar a tecnologia BIM, de acordo com o Quadro 2. O estudo revela que as principais dificuldades encontradas estão ligadas ao processo de implementação e ao processo trabalhoso e intenso da modelagem 3D necessária e a junção dos elementos com o cronograma da obra.

Quadro 2 – Síntese das dificuldades identificadas pelos autores

Recorrência	Dificuldades/restrições
30%	Dificuldade em implementação da tecnologia
19%	Grande consumo de trabalho intensivo para implementação efetiva da tecnologia e atualização do modelo e associação com o cronograma.
15%	Comunicação entre os <i>softwares</i> não é 100% automatizada
11%	Desconsidera tarefas como escavações, limpeza de terreno e fatores de risco externo
7%	Custo alto de implementação e treinamento
7%	Visualização ineficiente para atividades internas e externas simultâneas
7%	Depende do bom funcionamento de Hardware e da expertise do gestor para a estimativa de tempo de duração de atividades
4%	Falta de padronização da dados e documentos entre as equipes de projeto

Fonte: Silva; Crippa; Scheer (2019).

2.4 PRINCIPAIS SOFTWARES UTILIZADOS NA MODELAGEM BIM 4D

A empresa Trimble, desenvolve o *software* Vico Office que é uma das ferramentas para BIM mais completas da indústria, tendo como serviços: coordenação, quantificação de materiais, estimativa de custo, planejamento do processo e controle da produção. O software tem por objetivo reduzir riscos, gerenciar os custos e otimizar o tempo, atendendo as solicitações de projetos de alta complexibilidade. (VICO SOFTWARE, 2018).

O *ProjectWise Construction Work Package Server* é um *software* criado pela empresa Bentley com o objetivo de suprir algumas dificuldades que ocorrem durante a execução do planejamento, da seguinte forma:

- a) ajudando a controlar o orçamento e o calendário planejado, alinhando a conexão entre a engenharia e tecnologia no processo da construção e diminuindo horas de trabalho artesanal, reduzindo os custos de instalação;
- b) com a ampliação da visibilidade sobre a atual situação e progresso da obra, os profissionais ganham agilidade nas mudanças do projeto e reduzem riscos;
- c) fornecendo acompanhamento em tempo real do projeto, fazendo com que o proprietário também consiga acompanhar a execução da obra.

O Navisworks da Autodesk é uma ferramenta com foco maior na gestão e simulação da construção, proporcionando a visualização do andamento da execução através do planejamento. O programa permite que os profissionais do projeto consigam rever a totalidade do projeto criado, com os dados e os modelos que forem integrados pelos profissionais, fazendo com que tenham um melhor controle sobre a conclusão do projeto em questão. (AUTODESK, 2020).

O *software* possui funcionalidades que permitem a criação de grupos de seleção denominados *Selection*. Com isso, é possível efetuar alterações na visualização de certos elementos do modelo através de ações do tipo: esconder, mudar cor ou transparência. (AUTODESK, 2020).

Segundo a Autodesk (2020), este *software* disponibiliza alguns recursos, como:

- Interação com outros formatos de arquivos em um único modelo;
- Comparação entre o planejamento original e o executado;
- Navegação em tempo real dentro do projeto como foi projetado;
- Geração de *script* para animação de equipamentos do canteiro de obras, utilizando a ferramenta de cores para diferenciar as atividades atrasadas, adiantadas ou no prazo.

O aplicativo de simulação virtual de construções ConstructSim é um complemento do *ProjectWise Construction Work Package Server*, que fornece maior capacidade para planejamento com alto grau de detalhes em projetos de grande porte industrial. O Instituto da Indústria da Construção (CII) declarou que o ConstructSim Workface Planning Server pode aumentar segurança e diminuir os custos de instalações em até por cento, por ele gerenciar as informações produtivas, empacotamento de trabalho e a elaboração de relatórios completos do projeto, e permite que os profissionais implementem o empacotamento de trabalho mais avançado. (BENTLEY SYSTEMS, c2014b).

Devido à complexidade e quantidade de etapas e processos que envolvem a construção e sua utilização, ainda não é possível encontrar no mercado um *software* capaz de realizar todas estas etapas por si só. Sendo assim, muitas vezes são utilizados mais de um *software* para elaborar modelagem 3D, determinar os pacotes de atividades e Estrutura Analítica de Projeto (EAP), simular e integrar o cronograma com o modelo 3D e o realizar o controle da construção. (SILVA; CRIPPA; SCHEER,

2019). O Quadro 3 mostra quais são os *softwares* mais utilizados para a realização destas etapas.

Quadro 3 – *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 (<i>virtual prototype analysis</i>)	6%
Simulações e integração	NAVISWORKS	62,50%
	SIMPHONY	6,25%
	VISPMIS	6,25%
	4D-GCPSU	6,25%
	STROBOSCOPE	6,25%
	SITESIM-EDITOR	6,25%
	SIMULATION TOOLKIT SHIPBUILDING	6,25%
Planejamento	MSPROJECT	60%
	EXCEL	25%
	ALGORÍTIMOS 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, p. 7).

O estudo mostra que os softwares mais usados para desenvolvimento de cada parte que compõe os modelos 4D são: MsAccess, Revit, MsProject, Navisworks e BIM 360. (SILVA; CRIPPA; SCHEER, 2019).

3. METODOLOGIA

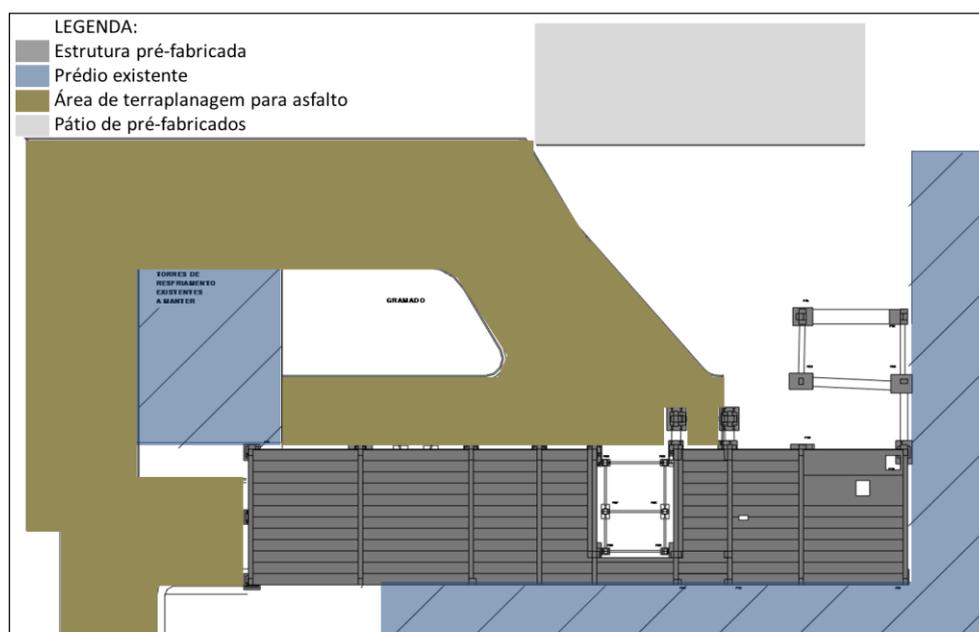
O presente trabalho investiga a aplicação da tecnologia BIM no planejamento de médio prazo de uma obra industrial do tipo *Engineer to Order*, com foco no controle logístico da mesma. A pesquisa utiliza dados de um estudo de caso para o qual são modelados o cenário real de execução e cenários hipotéticos, propostos pelo autor e modelados utilizando recursos BIM 4D.

O estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que, mesmo tratando de uma situação específica, procura encontrar características essenciais. Com isso pode ajudar na busca de novas teorias e questões que podem ser aplicadas em estudos futuros. (YIN, 2001).

3.1 DADOS DO ESTUDO DE CASO

O empreendimento em estudo é um galpão industrial localizado na cidade de Gravataí/RS. A edificação possui dois pavimentos com uma área total de 2.370,00 m², sendo 1.290,00 m² o pavimento térreo e 1.080,00 m² o pavimento superior. O período de execução da obra foi de abril de 2018 até fevereiro de 2019, totalizando 10 meses. O autor desta pesquisa participou desde o início até o fim da execução da obra, atuando na área da engenharia.

Figura 2 – Canteiro de obra do empreendimento A



Fonte: Arquivo da construtora do empreendimento.

A estrutura da edificação é pré-fabricada em concreto armado com Resistência Característica do Concreto à Compressão de 50 MPa. A obra possui 33 pilares, 14 vigas e 84 lajes do tipo TT. Tanto o piso térreo quanto a laje do pavimento superior são dimensionadas para a carga de 4,5 ton/m² devido a estoque e trânsito de equipamentos industriais, tornando a estrutura da edificação muito robusta e pouco convencional. Toda a fundação foi executada in loco e a ligação pilar-fundação se dá por meio de cálice nos blocos.

Na Tabela 1 são apresentadas as participações, em percentual, de cada um dos elementos construtivos estudados no custo total da obra. Este dado foi utilizado para elaboração dos cenários de análise propostos no estudo.

Tabela 1 – Participação (%) de cada elemento no custo total da obra

Elemento construtivo	Quantidade	Participação no custo total (%)
Blocos de fundação	33	28,25%
Pilares	33	32,02%
Vigas	14	10,96%
Lajes TT	84	28,77%
		100%

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 2 apresenta o planejamento inicial da obra para as atividades consideradas no estudo de caso, no qual foram baseadas todas as decisões para o início da construção, tais como: aquisição de materiais, logística, produção dos elementos pré-fabricados entre outros.

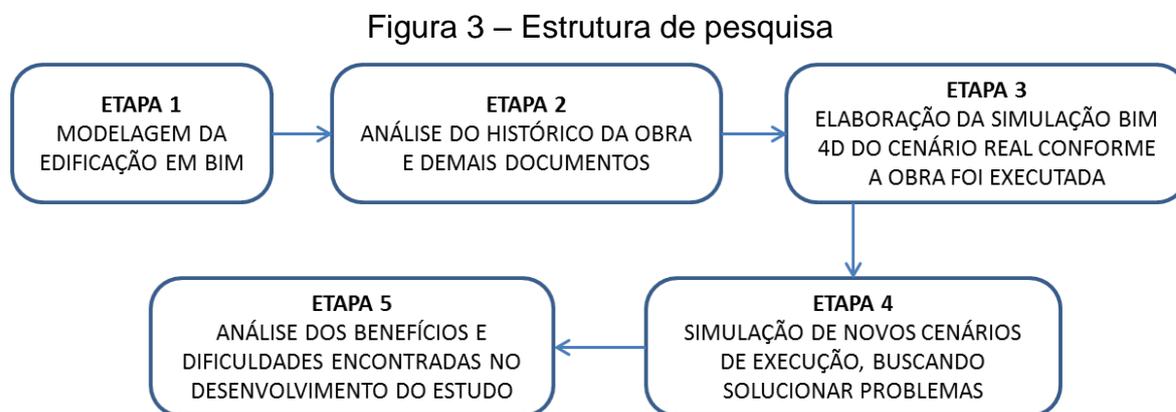
Tabela 2 – Cronograma físico financeiro

#	Serviço	Preço (R\$)	%	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto
1	Fundação	495.000,00	100,00%					
1.1	Blocos de fundação	495.000,00	100,00%		40%	60%		
2	Estrutura de concreto	2.239.000,00	100,00%					
2.1	Contratação	0,00						
2.2	Projeto e fabricação	800.000,00	36%			18%	18%	
2.3	Lançamento dos pilares	561.000,00	25%			25%		
2.4	Lançamento das vigas	224.000,00	10%			10%		
2.5	Lançamento das lajes	504.000,00	23%				2%	21%
2.6	Capa da laje 6800	150.000,00	7%					7%
				0,00	198.000,00	1.482.000,00	447.800,00	609.218,90
			Acumulado	0,00	198.000,00	1.680.000,00	2.127.800,00	2.737.018,90

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho foi realizado em cinco etapas de pesquisa, demonstradas no fluxograma da Figura 3.



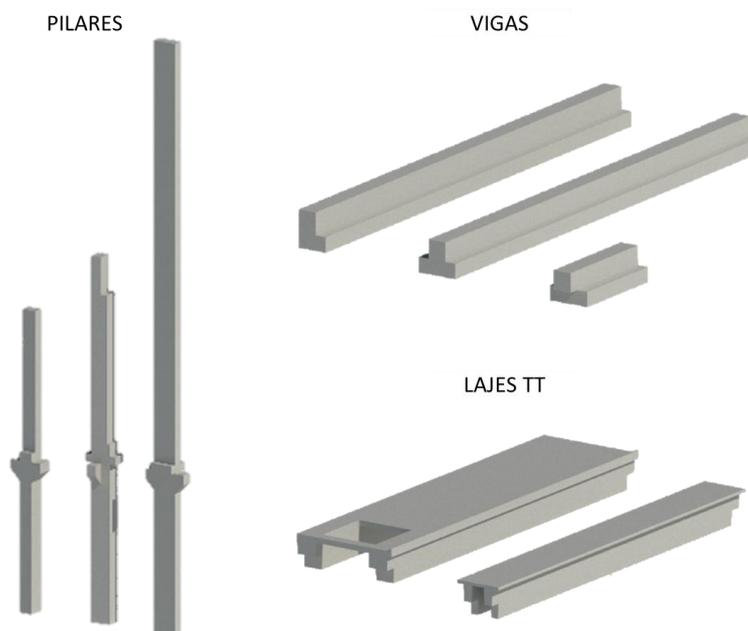
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.1 Etapa 1: Modelagem da edificação em BIM

A primeira etapa deste trabalho consiste na modelagem do canteiro de obras, fundação, estrutura pré-moldada e demais edificações existentes que fazem parte do empreendimento. Escolheu-se modelar os elementos relacionados à atividade de içamento e montagem da estrutura pré-fabricada (pilares, vigas e lajes) por ser a atividade mais importante e significativa, representando a maior parcela do peso total de aço e concreto. Também foram modelados os elementos da fundação por ser uma atividade predecessora da atividade principal da pesquisa. A modelagem dos elementos, canteiro de obras e demais edificações existentes foi desenvolvida no *software* Autodesk Revit 2020, versão educacional, ilustrada na Figura 5.

A modelagem BIM foi realizada através da análise dos desenhos de fabricação dos elementos e projetos arquitetônicos em 2D. Com exceção das lajes TT, os demais elementos possuem geometrias que diferem muito entre si, sendo necessária a análise do projeto de cada um dos elementos. A maioria dos elementos foi nomeada conforme projeto original, alguns tiveram sua identificação alterada para facilitar sua identificação e localização no canteiro. A modelagem dos elementos da estrutura pré-fabricada foi tridimensional e paramétrica usando LOD 300, ou seja, os modelos têm suas dimensões geométricas precisas conforme projeto. A Figura 4 ilustra exemplo dos elementos modelados.

Figura 4 – Exemplos dos elementos pré-fabricados modelados no Revit



Fonte: Elaborada pelo autor.

A atividade de fundação foi modelada em LOD 200 por diferentes motivos como: ter sido executada *in loco* e não haver necessidade de compra e produção prévia; não necessitar de local para pré-fabricação no canteiro; não requerer sequência de montagem dos elementos que a compõem. Essa escolha de menor nível de detalhe dos elementos da atividade de fundação não trouxe prejuízos para os fins deste estudo.

As edificações existentes em torno do empreendimento foram representadas no modelo em LOD 100. Os equipamentos, como guindastes e escavadeiras, foram importados da internet e inseridos no modelo.

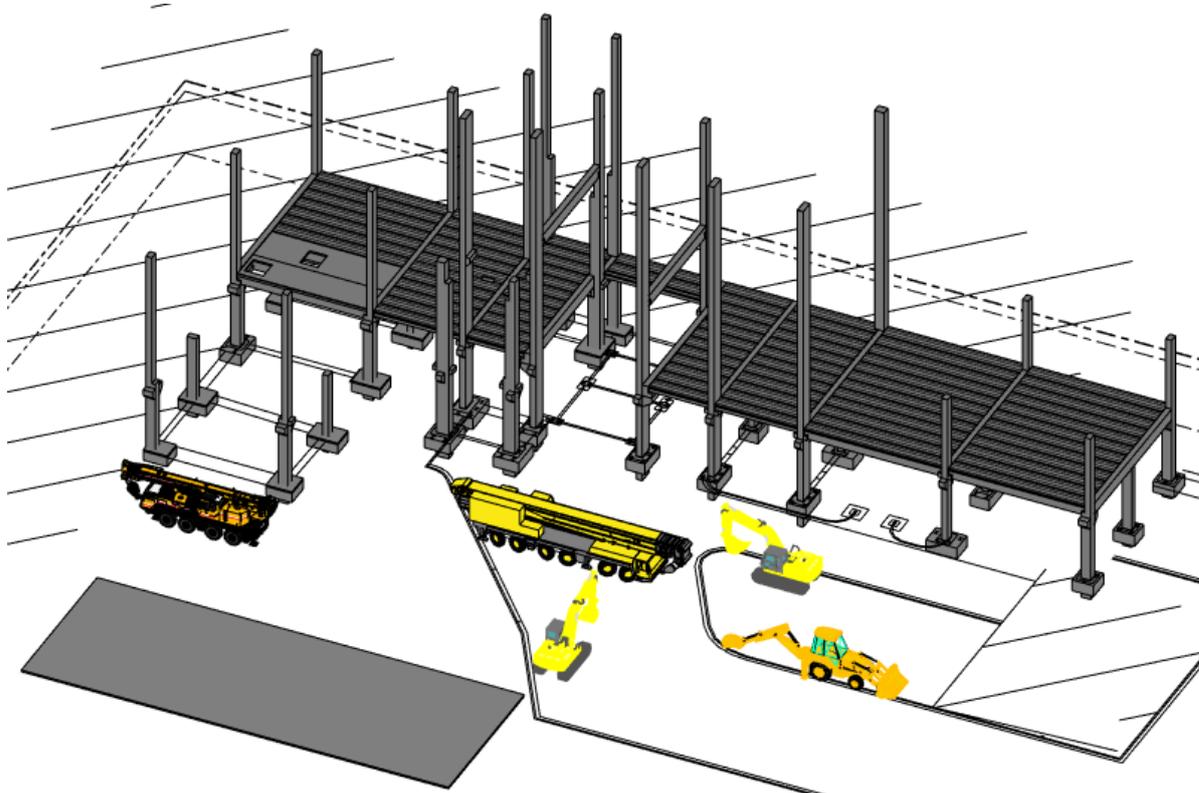
A Tabela 3 descreve os elementos modelados em BIM, suas quantidades e respectivos LOD.

Tabela 3 – LOD dos elementos modelados

Elemento modelado	Quantidade	LOD
Pilar pré-fabricado no canteiro	11	300
Pilar pré-fabricado na fábrica	22	300
Vigas pré-fabricadas	14	300
Lajes TT pré-fabricadas	84	300
Blocos de fundação	33	200
Canteiro de obras	1	100
Pátio de pré-fabricados	1	300
Edificações existentes	2	100
Total	168	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 5 – Modelo BIM do empreendimento no Revit



Fonte: Elaborada pelo autor.

Fotografia 1 – Empreendimento A



Fonte: Registrada pelo autor (2018).

3.2.2 Etapa 2: Análise do histórico da obra e demais documentos

Analisou-se toda a documentação disponível da obra como Diário de Obra, planos e demais históricos da obra. Assim, foi possível criar a simulação 4D do cenário real de execução da obra e levantar quais foram os principais problemas de planejamento logístico que, possivelmente, causaram atrasos e perdas na produção e lançamento da estrutura pré-fabricada. Também foram analisadas interferências de demais atividades com a atividade principal da pesquisa.

3.2.3 Etapa 3: Simulação computacional conforme a obra foi executada em BIM 4D

Após a modelagem BIM e análise do histórico da obra, elaborou-se a primeira simulação 4D utilizando o *software* Navisworks. Esta simulação contempla o cenário real de execução das atividades de fundação e lançamento da estrutura pré-fabricada, onde foram inseridas informações reais de início e término de cada atividade e as datas exatas de execução de cada um dos elementos modelados.

Assim, com a adição da dimensão tempo ao modelo tridimensional, foi criado o modelo BIM 4D com sua sequência de tarefas exatamente conforme foi executada

a obra física. Este levantamento serve como base para a elaboração das simulações de cenários alternativos no Navisworks, buscando soluções para os problemas encontrados.

3.2.4 Etapa 4: Simulação de cenários alternativos de sequenciamento das atividades

Usando como base o modelo BIM 4D do cenário real elaborado no Navisworks, aproveitando as seleções de elementos, tarefas e demais configurações, foram elaborados diferentes cenários de execução das atividades, buscando solucionar os problemas levantados nas etapas 2 e 3.

As simulações dos cenários propostos seguiram algumas restrições determinadas pelo autor para garantir comparabilidade entre os cenários. Estas restrições se basearam em dados da execução real da obra e análise do histórico da mesma, limitando as simulações em relação aos custos, tempos de execução, capacidade de produção, capacidade de equipamentos, entre outros, e são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Restrições determinadas pelo autor com base na análise da execução real da obra

Item	Descrição
Financeiro	Despesas com fundações de no máximo R\$220.000,00 por mês
Tempo	Mínimo de 20 dias para execução de cada bloco de fundação, conforme média do cenário real
	Mínimo de 14 dias de cura dos blocos de fundação para posterior lançamento do pilar na fundação (cura do bloco e do cálice)
	Mínimo de 10 dias para fabricação de cada pilar no pátio de pré-fabricados
	Mínimo de 14 dias de cura dos pilares fabricados no pátio (tempo para atingir a resistência mínima de projeto para içamento)
Data	O início da atividade de lançamento da estrutura pré-fabricada se manteve a mesma do cenário real: 21/07/2018
Produção	Produção máxima de 04 pilares simultaneamente no pátio de pré-fabricados do canteiro de obras
	Raios máximos de trabalho do guindaste para movimentação de pilares fabricados no pátio conforme plano de <i>rigging</i> Transporte horizontal: 12 metros Lançamento: 9 metros Tempo aproximado para patola do guindaste: 2 horas
	Produção máxima diária de lançamento com guindaste: 4 pilares ou 12 lajes ou 6 lajes e 2 vigas ou 6 lajes e 2 pilares ou 1 viga e 9 lajes ou 2 pilares e 2 vigas ou 3 pilares e 1 viga
Sequência executiva	Para o lançamento das vigas nos consoles dos pilares são necessários 3 dias de cura do grauteamento pilar-fundação
Clima	Os dias de chuva do cenário real, nos quais não foi possível o lançamento da estrutura pré-fabricada, foram considerados nos novos cenários simulados. No total são 18 dias improdutíveis para lançamento

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Quadro 5 apresenta as restrições em virtude de problemas identificados na simulação da execução real da obra. Estas limitações foram determinadas pelo autor com o objetivo de evitar a repetição destes problemas, garantindo melhorias às novas propostas de execução das atividades.

Quadro 5 – Restrições com objetivo de melhorias

Item	Descrição
Produção	Não foi permitido executar lançamentos aos sábados, domingos e feriados
Estoque no canteiro de obras	Não foi considerada a possibilidade de estocar os pilares fabricados no pátio do canteiro. Os pilares são lançados em seus respectivos blocos de fundação assim que atingem o tempo mínimo de cura para içamento
Segurança	Nos 10 primeiros dias de execução de cada bloco de fundação, foi considerado um raio de 30m de distância entre o ponto de lançamento de estrutura e o bloco. Isto foi determinado pelo autor com o objetivo de maior segurança, visto que nestes 10 dias há maior número de pessoas trabalhando no bloco

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram considerados 18 dias de chuva como folga no cronograma, que é o total de dias improdutivos para lançamento de estrutura pré-fabricada do cenário real de execução da obra, de acordo com a Tabela 4. Não foram consideradas outras folgas para eventuais problemas, como problemas com a empresa contratada para execução da estrutura pré-fabricada, por exemplo.

Tabela 4 – Dias improdutivos de cada mês devido à chuva

Julho	Agosto	Setembro	Outubro
24	8	3	1
25	9	4	2
26	20	14	3
	21	24	
	22	25	
	24		
	31		

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2.5 Etapa 5: Análise das dificuldades e benefícios do uso do BIM

A etapa 5 envolveu o levantamento e categorização das dificuldades e benefícios observados no uso do BIM 4D como solução de problemas de planejamento logístico na obra em estudo. Foram elaborados quadros com os benefícios apresentados no item 2.3.1.1 e dificuldades apresentadas no item 2.3.1.2, ambos baseados nos critérios de Silva, Crippa e Scheer (2019) e ordenados pela sua relevância.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 MODELAGEM BIM 4D DO CENÁRIO REAL DE EXECUÇÃO

De início, levantou-se os dados reais de execução da obra. Na Tabela 5 é apresentado o planejamento de longo prazo com as respectivas atividades executadas e prazos reais da obra. Os dados apresentados são um resumo da planilha completa, contendo apenas as informações das atividades analisadas neste estudo, possibilitando a comparação com os cenários propostos.

No Apêndice A está a tabela exportada do Navisworks no formato csv e editada no Excel, contendo detalhadamente as datas de execução da fundação e do lançamento de cada um dos elementos da estrutura, conforme ocorreu na execução da obra.

No apêndice D está o *link* que permite a visualização da simulação em formato de vídeo sem edições, exportado do Navisworks no formato avi.

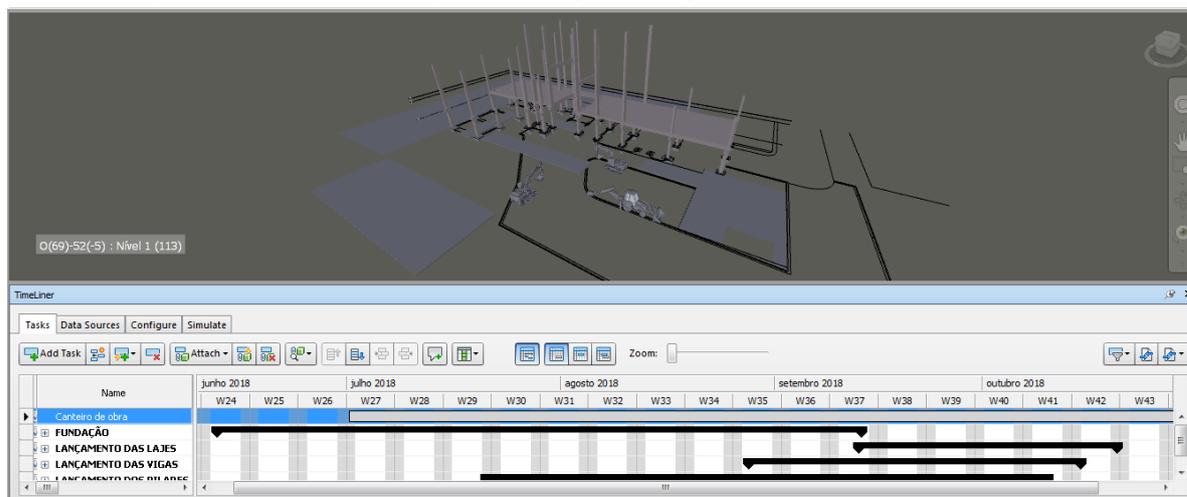
Tabela 5 – Resumo do planejamento do cenário real

#	Serviço	Preço (R\$)	%	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
1	Fundação	495.000,00	100,00%					
1.1	Blocos de fundação	495.000,00	100,00%	17%	34%	34%	15%	
2	Estrutura de concreto	2.239.000,00	100,00%					
2.1	Contratação	0,00						
2.2	Projeto e fabricação	800.000,00	36%	18%	18%			
2.3	Lançamento dos pilares	561.000,00	25%		3%	9%	9%	4%
2.4	Lançamento das vigas	224.000,00	10%			1%	6%	3%
2.5	Lançamento das lajes	504.000,00	23%				18%	4%
2.6	Capa da laje 6800	150.000,00	7%					7%
				487.170,00	638.490,00	392.200,00	813.120,00	403.020,00
			Acumulado	487.170,00	1.125.660,00	1.517.860,00	2.330.980,00	2.734.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 6 mostra o modelo 4D e o gráfico de Gantt gerado pelo Navisworks das atividades de estudo desta pesquisa referente à simulação do cenário real.

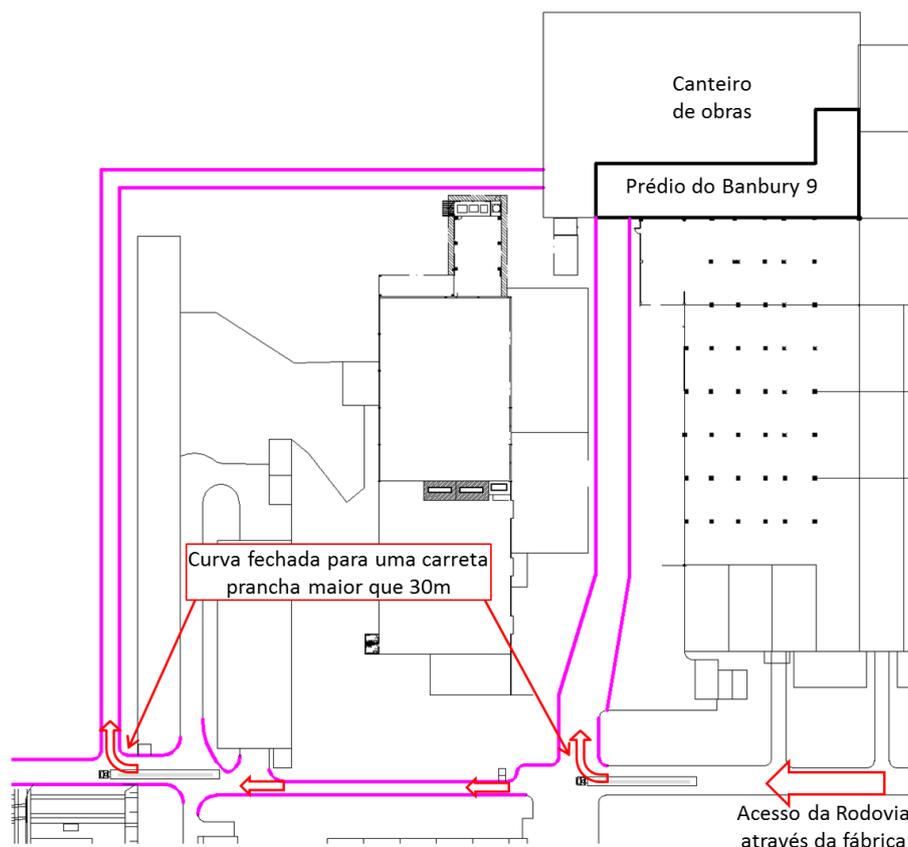
Figura 6 – Modelo 4D e gráfico Gantt do cenário real



Fonte: Elaborada pelo autor.

Dos 33 pilares que compõem a estrutura da obra, 11 tiveram sua produção realizada dentro do próprio canteiro de obra. Isto ocorreu devido às grandes dimensões destes pilares, chegando próximo de 30 metros de comprimento e 46 toneladas cada. Estes pilares foram fabricados dentro do canteiro, visando redução de custo com uso de emendas e transporte. O transporte da fábrica até o canteiro de obra se tornou inviável por razões logísticas, conforme é possível visualizar na Figura 7. Uma carreta prancha maior que 30 metros não conseguiria fazer as curvas necessárias dentro do pátio da empresa cliente. Havia a possibilidade de uso de emendas pilar X pilar e transporte dos pilares em partes para a obra, mas foi inviável financeiramente na época do planejamento inicial, conforme questionado ao engenheiro responsável pela obra, ficando como uma segunda opção caso fosse impossível a fabricação dos pilares no próprio canteiro de obra.

Figura 7 – Inviabilidade de transporte dos pilares fabricados no pátio

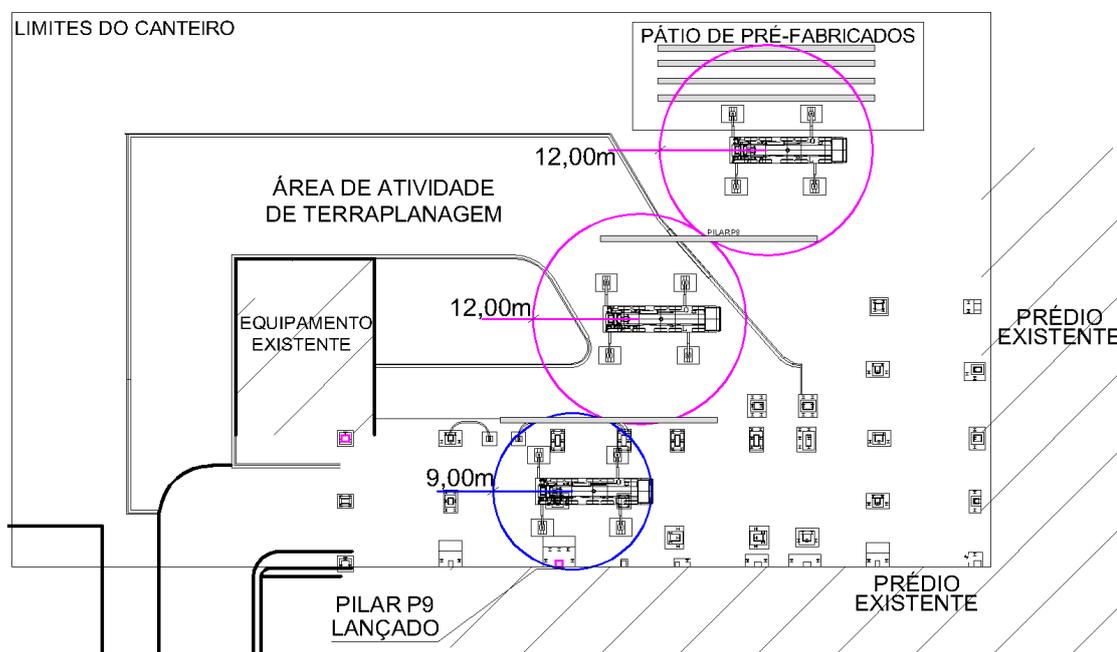


Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a sequência de fabricação dos pilares moldados no pátio do canteiro de obra apresentada na Tabela 6, é possível identificar a importância de que os 4 pilares produzidos não sejam estocados para posterior lançamento, uma vez que os raios de movimentação horizontal e lançamento são 12 e 9 metros, respectivamente conforme plano de *rigging* (planejamento de uma movimentação de carga com guindaste). Estes raios são considerados apenas para os 11 pilares fabricados no pátio.

A retirada do pátio e lançamento no mesmo dia evita problemas logísticos de movimentação com o guindaste, perda de tempo produtivo por maior número de patolas, reduz o número de locações de guindaste, atrasos na fabricação dos próximos 4 pilares no pátio (capacidade de produção máxima no pátio é de 4 pilares por vez) e interferências com demais atividades. Isto justifica a importância do planejamento detalhado da execução e lançamento de todos os pilares executados no pátio, evitando os problemas citados.

Figura 8 – Exemplo raios para transporte lançamento do pilar P9



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 6 mostra a sequência de execução de cada um dos 11 pilares fabricados no pátio, com suas respectivas datas de início, término, data do lançamento e tempo em estoque aguardando lançamento. A partir desta tabela é possível identificar que os pilares ficaram, em média, 18 dias estocados aguardando lançamento em seu respectivo bloco de fundação. O pilar P18 ficou estocado por 32 dias no canteiro de obra, sendo o que ficou por mais tempo.

Tabela 6 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra

Pilar	Início	Término	Duração	Lançamento	Tempo de estocagem
P07	27/07/2018	07/08/2018	11	29/08/2018	8
P09	12/08/2018	23/08/2018	11	17/09/2018	11
P10	14/08/2018	24/08/2018	10	13/09/2018	6
P13	04/07/2018	14/07/2018	10	16/08/2018	19
P14	29/07/2018	07/08/2018	10	28/08/2018	7
P17	04/07/2018	14/07/2018	10	14/08/2018	17
P18	12/08/2018	24/08/2018	12	09/10/2018	32
P19	14/08/2018	24/08/2018	10	08/10/2018	31
P21	28/08/2018	06/09/2018	11	10/10/2018	20
P22	28/08/2018	06/09/2018	10	10/10/2018	20
P23	28/08/2018	06/09/2018	9	09/10/2018	19

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.1.1 Sequenciamento das atividades de lançamento da estrutura pré-fabricada

O Quadro 6 mostra o sequenciamento das atividades em estudo nesta pesquisa, demonstrando a relação de interdependência entre elas.

Quadro 6 – Atividades predecessoras

Cód.	Atividade	Predecessoras
a	Blocos de fundação	Escavação
b	Lançamento dos pilares	Blocos de fundação
c	Ligação pilar X fundação com graute	Lançamento dos pilares
d	Lançamento das vigas	Ligação pilar X fundação com graute
e	Lançamento das lajes	Lançamento das vigas
f	Concretagem do capeamento da laje	Lançamento das lajes
g	Lançamento da estrutura metálica	Concretagem do capeamento da laje

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Quadro 7 mostra a sequência de lançamento de cada tipo de elemento da estrutura pré-fabricada, explicando a interdependência entre as atividades. As informações são baseadas na experiência do autor durante a execução do empreendimento.

Quadro 7 – Detalhamento do lançamento da estrutura pré-fabricada

Atividade	Detalhamento
Lançamento dos pilares	Os pilares são lançados nos seus respectivos blocos de fundação com uso de guindaste. 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
Lançamento das vigas	Após a cura do graute, as vigas são lançadas com uso de guindaste nos pilares sobre apoios de Neoprene. As vigas saem da fábrica e são transportadas pela rodovia até o canteiro de obra
Lançamento das lajes	As lajes são lançadas nas vigas com uso de guindaste e, assim como as vigas, saem da fábrica e são transportadas pela rodovia até o canteiro de obra
Concretagem do capeamento da laje	O capeamento é executado sobre as lajes com concreto armado bombeado. Foi dividido em uma etapa de 572 m ² e outra de 415 m ²

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Quadro 8 explica as diferenças de lançamento entre os pilares fabricados no pátio e as demais estruturas transportadas da fábrica da empresa subcontratada até o canteiro de obra. As informações são baseadas na experiência do autor na execução do empreendimento.

Quadro 8 – Diferença de lançamento entre as peças pré-fabricadas

Atividade	Detalhamento
Pilares pré-fabricados no pátio do canteiro de obra	Depois de atingido o tempo mínimo de cura, o guindaste patola ao lado do pátio de pré-fabricados e move os pilares para próximo do local de seu lançamento, respeitando um raio máximo de 12 metros para transporte horizontal. São realizadas as quantidades de patolas necessárias para a movimentação completa. Em seguida, o guindaste patola novamente e lança os pilares em seus respectivos blocos, dentro do raio máximo de 9 metros para lançamento vertical
Demais peças pré-fabricadas na fábrica da subcontratada	O guindaste patola próximo ao local e lança as peças estocadas previamente ou que chegam transportadas por carretas que estacionam ao lado do guindaste

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 ANÁLISE DO CENÁRIO REAL DE EXECUÇÃO ATRAVÉS DO MODELO BIM 4D

Com base nos resultados obtidos no item 4.1 foram feitas as análises dos principais problemas logísticos e de execução das atividades, apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 – Principais problemas identificados no cenário real

Item	Descrição do problema	Causa do problema	Consequência
1	Pilares pré-fabricados no pátio e estocados no canteiro de obra, aguardando lançamento	O planejamento da sequência de execução dos blocos de fundação não foi alinhado com o planejamento de execução dos pilares pré-fabricados no pátio do canteiro de obra. Os pilares já haviam atingido o tempo de cura para içamento, mas seus respectivos blocos de fundação ainda estavam em execução	Interferência com equipamentos, locomoção de pessoas e nas demais atividades em andamento

Continua.

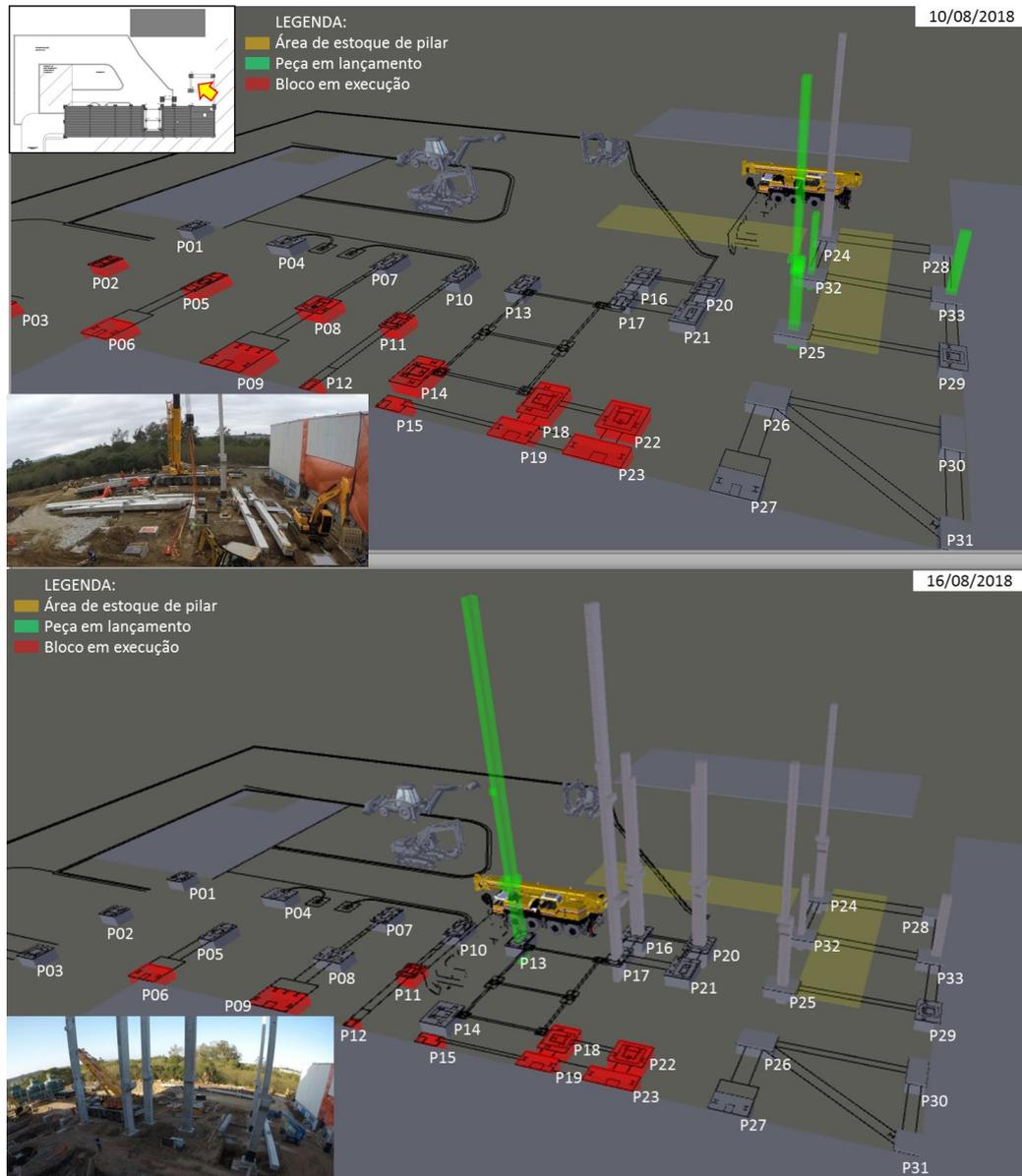
Item	Descrição do problema	Causa do problema	Consequência
2	Falta de disponibilidade de guindastes para locação	Falta de planejamento da sequência de fabricação e lançamento de cada peça da estrutura pré-fabricada, para que se possa programar com antecedência e maior precisão a locação do guindaste	Atraso no lançamento da estrutura, perda de produção diária do guindaste e aumento do número de locações
3	Falta de peças disponíveis a serem lançadas em locais próximos no mesmo dia	A falta de planejamento da sequência de fabricação da estrutura pré-fabricada.	Não utilização da produção máxima de lançamento por dia do guindaste devido à necessidade de diferentes locais de patola num mesmo dia, gerando mais locações até o final da obra
4	Sequência de lançamento mal planejada	A execução dos blocos de fundação dos pilares P18, P19, P22 e P23 tiveram sua execução adiada por terem sido priorizadas atividades paralelas no local, como serviços no fechamento lateral do prédio existente. Com isso, adiando também o lançamento dos respectivos pilares	Foram lançados demais pilares em torno destes que impossibilitaram a movimentação horizontal e lançamento vertical dos pilares do pátio, dentro dos raios máximos permitidos do guindaste. Com isso, foi necessária a locação de guindaste de maior porte (300 ton) para vencer o raio de lançamento
5	Impossibilidade de uso de plataforma elevatória sobre a laje para execução da estrutura metálica de cobertura	Atraso no lançamento das lajes para posterior concretagem do capeamento	Atraso no início da execução da estrutura metálica de cobertura

6	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 9 obtida da captura de tela do Navisworks exemplifica o item 1 do Quadro 9, mostrando que 2 áreas de estoque ocuparam espaço no canteiro de obra por 6 dias até que os pilares fossem lançados nos blocos. A simulação 4D oferece a possibilidade de evitar este problema a partir do planejamento da sequência de produção dos pilares no pátio, lançando-os nos blocos assim que atingirem o tempo mínimo de cura para içamento. Os pilares produzidos na fábrica da subcontratada teriam sua produção e entrega no canteiro conforme a sequência de lançamento simulada.

Figura 9 – Estoque de pilares no canteiro de obra – cenário real

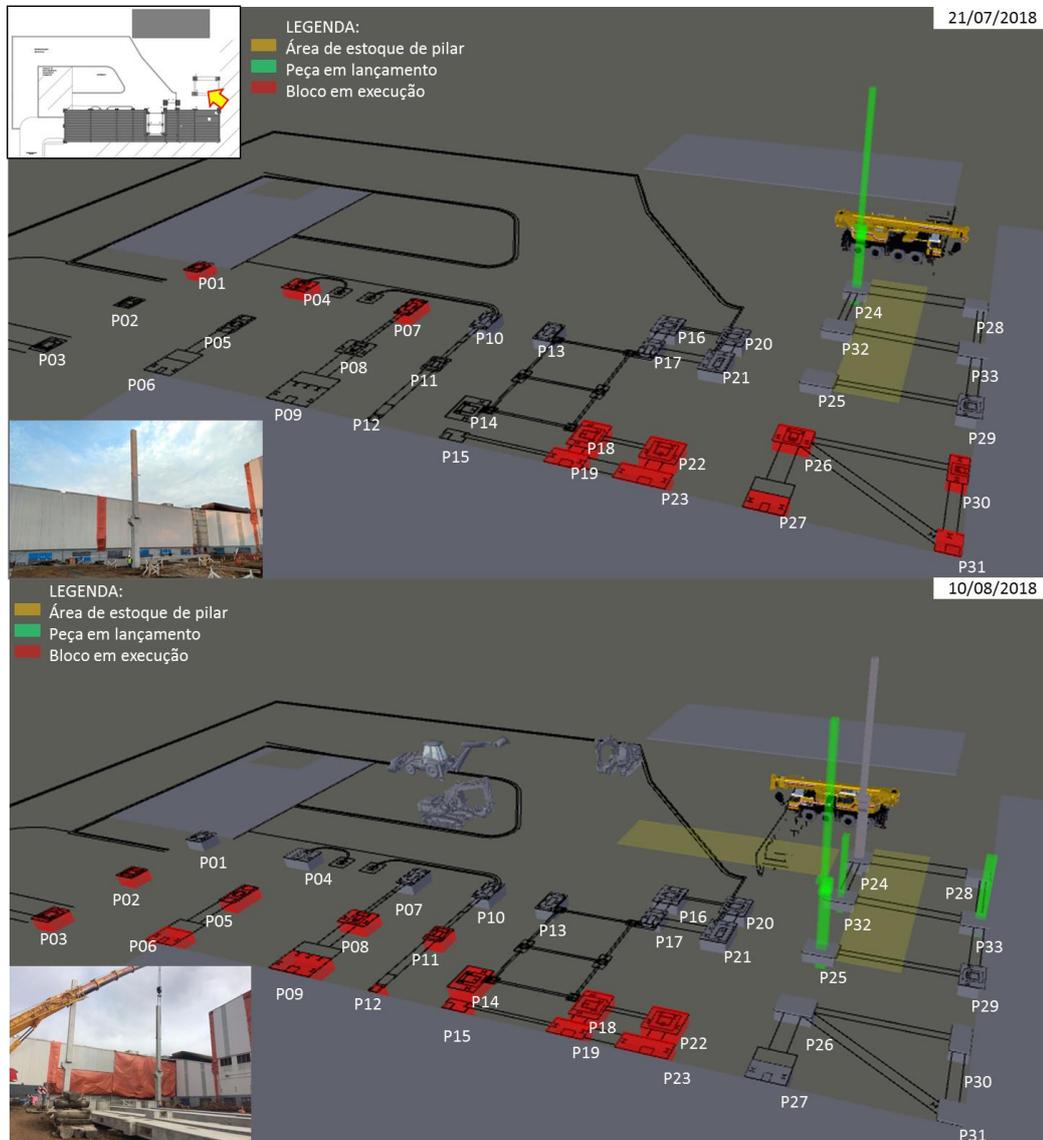


Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 10 ilustra o item 2 do Quadro 9, a falta de disponibilidade de guindastes para locação. É possível identificar que no primeiro dia de lançamento dos pilares apenas o pilar P24 foi lançado, passando-se 20 dias até o próximo lançamento. Este grande intervalo entre lançamentos é consequência da falta da programação com a empresa de locação do guindaste, como não havia os dias de lançamentos das peças determinados previamente, o equipamento foi disponibilizado para obra de outra empresa. O emprego do BIM 4D poderia ter evitado este problema a partir do planejamento prévio do lançamento de cada peça

da estrutura pré-fabricada, permitindo a reserva de locação do equipamento baseada na simulação.

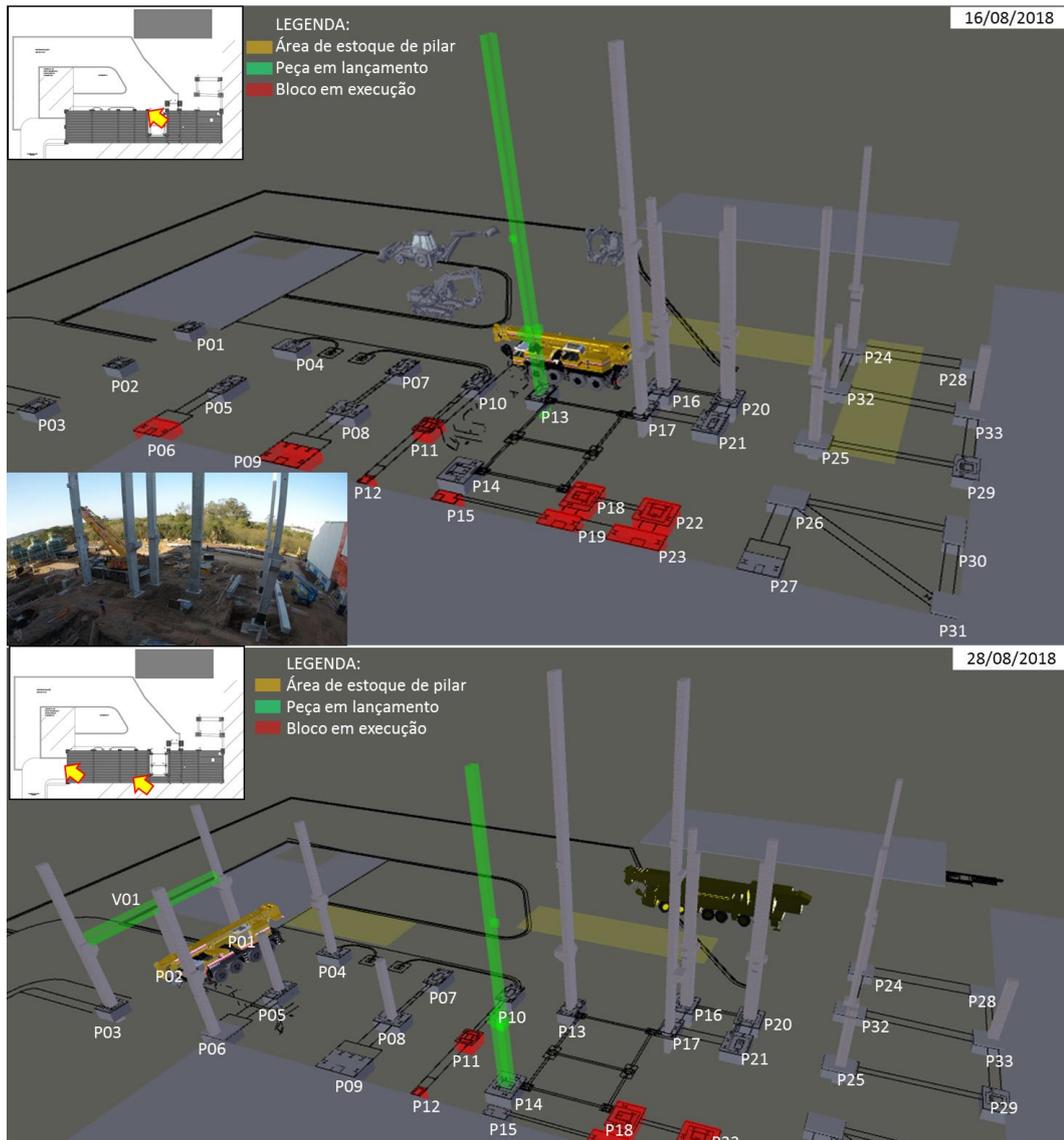
Figura 10 – Indisponibilidade de locação de equipamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 11 ilustra o item 3 do Quadro 9, a falta de peças disponíveis a serem lançadas em locais próximos no mesmo dia. Nas duas situações exemplificadas na figura, é possível visualizar que não foi utilizada a capacidade máxima de lançamento diária do guindaste. O BIM 4D poderia ter evitado este problema a partir do planejamento prévio do lançamento de cada peça pré-fabricada, permitindo que fossem fabricadas e recebidas no canteiro conforme a sequência simulada.

Figura 11 – Falta de peças disponíveis a serem lançadas em locais próximos

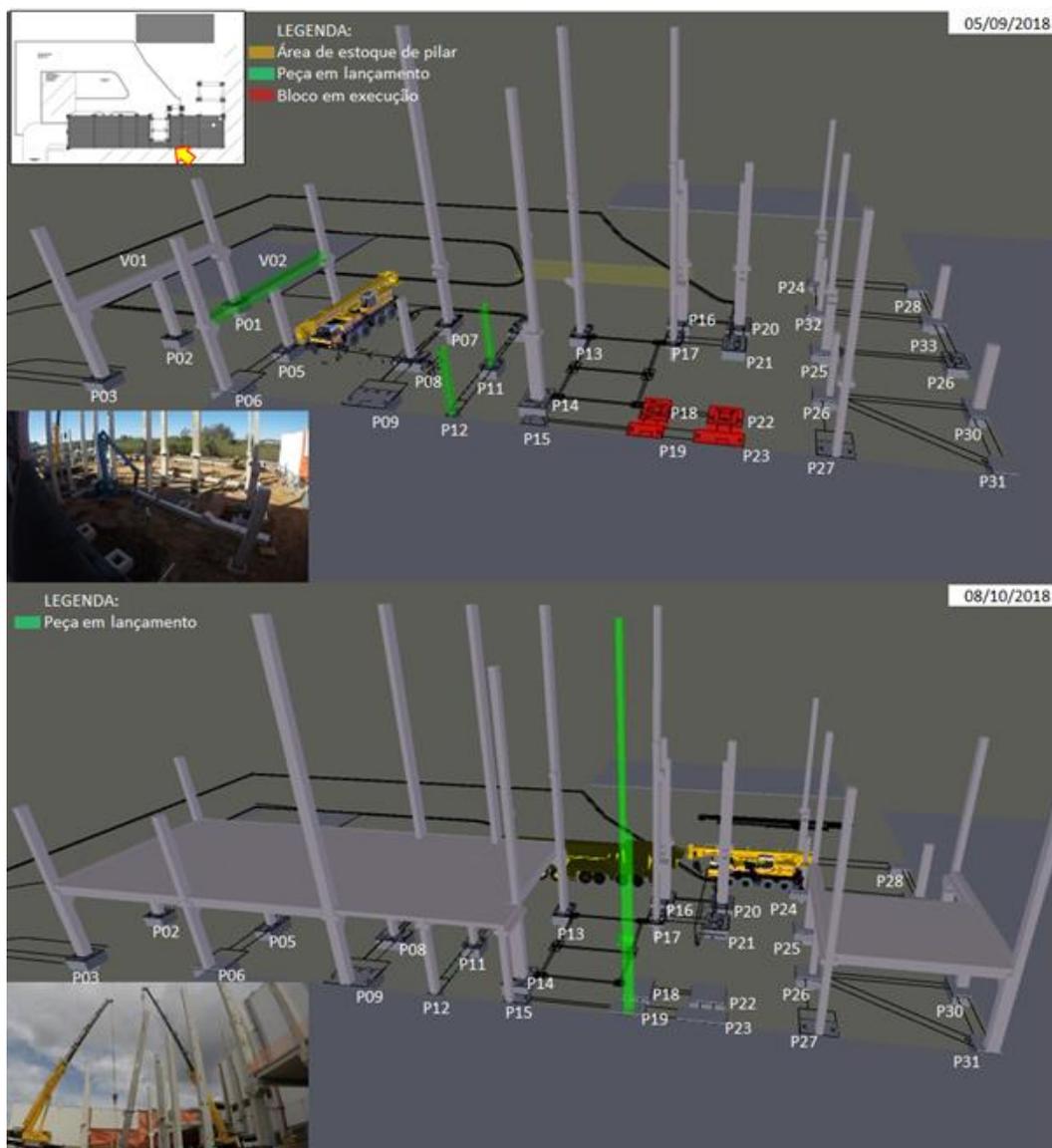


Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 12 ilustra o problema 4 do Quadro 9, sequência de lançamento mal planejada. É possível identificar que os blocos de fundação dos pilares P18, P19, P22 e P23 tiveram sua execução adiada, isto correu devido à execução da atividade de remoção do fechamento lateral do prédio existente. Como consequência do lançamento dos demais pilares em torno destes quatro blocos, o acesso do guindaste para lançamento foi dificultado, sendo necessário o aluguel de um guindaste de 300 toneladas para vencer um raio maior de lançamento, auxiliando o guindaste que já estava sendo utilizado (220 toneladas). Com o planejamento antecipado da sequência de lançamento da estrutura e verificação de interferências

com demais atividades, proporcionados pelo uso da tecnologia BIM, este problema poderia ter sido evitado.

Figura 12 – Sequência de lançamento mal planejada

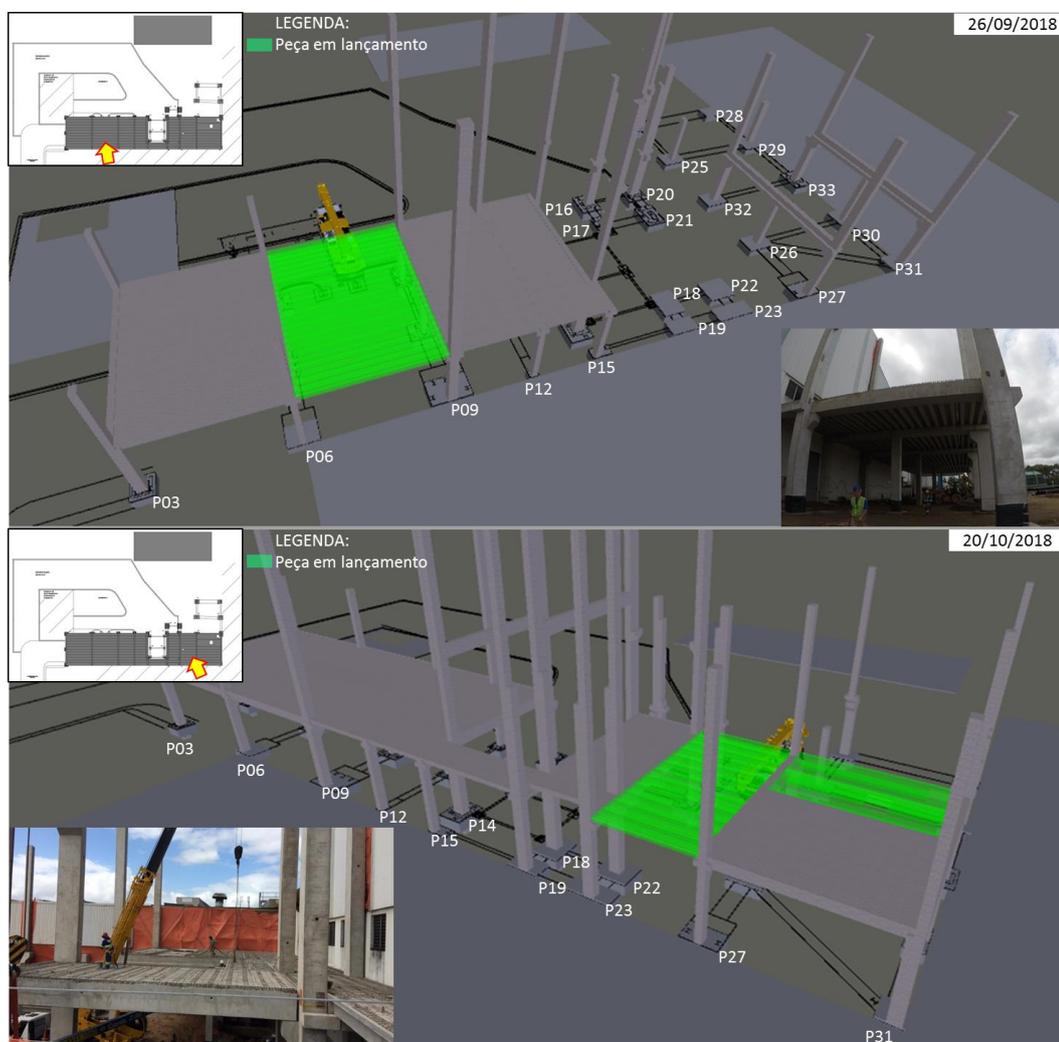


Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 13 ilustra o problema 5 do Quadro 9, mostrando as datas em que são lançadas as últimas lajes necessárias para finalizar cada uma das etapas de execução do capeamento. A execução da estrutura metálica de cobertura é sucessora do capeamento da laje e necessita que uma plataforma elevatória se movimente sobre ela, sendo assim, o início da execução da cobertura metálica em cada etapa depende da execução do capeamento. O uso do BIM 4D permite análise e simulação de um cenário alternativo que priorize o início da execução do

capeamento da laje em cada etapa, evitando atraso na execução da cobertura metálica.

Figura 13 – Indisponibilidade de locação de equipamento



Fonte: Elaborada pelo autor.

No Tabela 7 são apresentados os gastos com locação de guindaste para lançamento de toda a estrutura pré-fabricada no cenário real, os valores foram obtidos na análise do histórico. O total de 28 locações de guindaste ocorre pelo problema 3 do Quadro 9, o não uso da capacidade máxima de içamento por dia do guindaste. Já o item 2 da Tabela 7 refere-se ao custo extra com locações de um guindaste de maior porte devido ao problema 4 do Quadro 9, ocorrido pela falta de planejamento na sequência de lançamento.

Tabela 7 – Resumo da locação de guindaste para içamento

Cenário real de execução				
Item	Equipamento local	Diárias	Custo diária	Total
1	Guindaste 220 t	28	R\$ 5.000,00	R\$ 140.000,00
2	Guindaste 300 t	6	R\$ 8.000,00	R\$ 48.000,00
Total				R\$ 188.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

O item 6 do Quadro 9 refere-se a não utilização de um modelo virtual 3D para melhor visualização da execução do empreendimento por todos os membros da equipe e das possibilidades de planejamento com BIM 4D.

Partindo da hipótese de que o uso da tecnologia BIM 4D no planejamento e controle de obras permite identificar com antecedência problemas e interferências entre as atividades, foram propostos cenários alternativos de execução da obra que buscam solucionar os problemas levantados no Quadro 9.

4.3 CENÁRIOS PROPOSTOS

Tendo em vista os principais problemas encontrados e as restrições definidas no item 3.1.5, foram propostos 2 cenários alternativos de execução da fundação e do lançamento da estrutura pré-fabricada. Os cenários alternativos consideraram os tempos mínimos de execução de cada atividade, tempos de cura, sequência construtiva, capacidade de equipamentos, entre outros, baseados no cenário real conforme Quadro 4, item 3.1.5.

As simulações envolveram a análise logística de cada um dos 164 elementos modelados. Foi realizado o planejamento do lançamento de todas as peças da estrutura, o planejamento de execução e o lançamento dos 11 pilares pré-fabricados no pátio e a execução dos blocos de fundação.

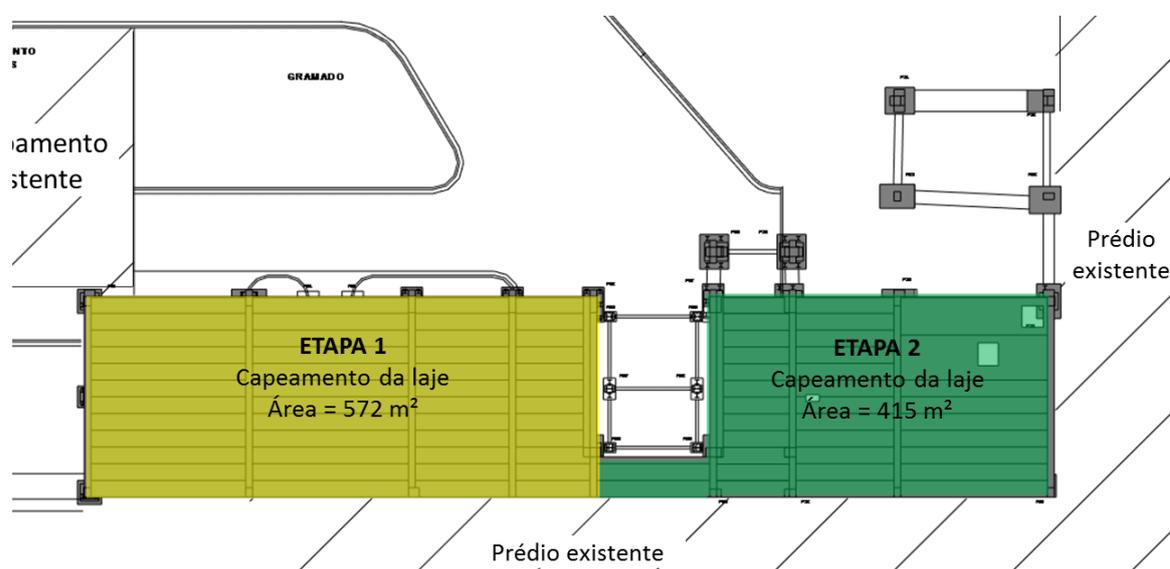
Para cada dia de lançamento da estrutura foi posicionado o guindaste no modelo 4D, com o objetivo de melhor visualização de interferências com demais atividades e um planejamento logístico do fluxo do canteiro.

O primeiro cenário proposto teve como principal objetivo eliminar o estoque no canteiro de obra dos pilares pré-fabricados no pátio, a partir do planejamento da execução até o lançamento. Além disso, diminuir o número total de locações de

guindaste e eliminar a necessidade do guindaste de 300 toneladas, reduzindo a duração das atividades de estudo.

O segundo cenário proposto teve a sequência de lançamento e fabricação dos pilares no pátio planejada com o objetivo de iniciar a primeira área de capeamento da laje no menor tempo possível, conforme ilustrado na Figura 14. Como esta atividade é predecessora do lançamento da estrutura metálica, é possível evitar o problema 5 do Quadro 9, item 4.2, referente ao atraso no início da mesma. Além disso, mantém os objetivos de eliminar o estoque dos pilares pré-fabricados no canteiro, diminuir o número de locações de guindaste e evitar necessidade do guindaste de 300 toneladas.

Figura 14 –Etapas de capeamento da laje



Fonte: Elaborada pelo autor.

A elaboração destes cenários alternativos mostra a possibilidade de simulação de diferentes sequências executivas proporcionada pela tecnologia BIM 4D. Isto permite aos planejadores visualizar e escolher a melhor alternativa com base nos objetivos definidos pela equipe.

4.3.1 Simulação do cenário proposto 1

A simulação do cenário 1 utiliza o modelo 4D do cenário real, aproveitando as seleções (*sets*) já criadas no Navisworks. O que permitiu a diminuição do tempo de elaboração do cenário.

No Apêndice B é apresentada a tabela exportada do Navisworks no formato csv e editada no Excel, contendo detalhadamente as novas datas de execução da fundação e do lançamento de cada um dos elementos da estrutura. A Tabela 8 apresenta o resumo desta tabela, contendo os dados mais significativos das atividades principais para possível comparação com os demais cenários.

No apêndice D está o *link* que permite a visualização da simulação em formato de vídeo sem edições, exportado do Navisworks no formato avi.

Tabela 8 – Resumo do planejamento das atividades de estudo do cenário proposto 1

#	Serviço	Preço (R\$)	%	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	Fundação	495.000,00	100,00%				
1.1	Blocos de fundação	495.000,00	100,00%	23%	45%	32%	
2	Estrutura de concreto	2.239.000,00	100,00%				
2.1	Contratação	0,00					
2.2	Projeto e fabricação	800.000,00	36%	18%	18%		
2.3	Lançamento dos pilares	561.000,00	25%		7%	12%	5%
2.4	Lançamento das vigas	224.000,00	10%			7%	3%
2.5	Lançamento das lajes	504.000,00	23%			16%	7%
3	Capa da laje 6800	150.000,00	7%				7%
				516.870,00	782.500,00	942.050,00	492.580,00
			Acumulado	516.870,00	1.299.370,00	2.241.420,00	2.734.000,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

O Tabela 9 faz a comparação entre o cenário real de execução da obra e o cenário proposto 1, mostrando a redução em dias de cada atividade proporcionada pelo planejamento detalhado com uso da ferramenta BIM 4D.

A simulação mostrou que o uso da verba mensal máxima permitida para execução dos blocos, priorizando esta atividade, permitiu uma redução de 23 dias de duração. Foi visualizado que o atraso na execução dos blocos de fundação acarretaria o atraso do lançamento dos pilares e um maior gasto com locação de guindaste, devido a diminuir significativamente as possíveis combinações de elementos a serem lançados em cada dia.

A atividade de lançamento dos pilares teve uma redução de 30 dias alcançada pelo planejamento mais preciso e visualização da sequência completa de lançamento possibilitada pela simulação 4D. Neste cenário foram considerados lançamentos com uso máximo da capacidade do guindaste e sem indisponibilidade de locação. O planejamento da execução e lançamento dos 11 pilares executados no pátio também foi um fator significativo desta redução, uma vez que foram lançados assim que atingiram o tempo mínimo de cura.

As atividades de lançamento das vigas e lajes tiveram redução de 12 e 4 dias respectivamente. Este resultado foi alcançado a partir do aproveitamento da capacidade de produção de lançamento do guindaste.

Tabela 9 – Duração das atividades do cenário proposto 1 versus cenário real

Serviço	Duração em dias	
	Cenário Real	Cenário Alternativo 1
Fundação	90	67
Estrutura de concreto	91	58
Lançamento dos pilares	81	51
Lançamento das vigas	48	36
Lançamento das lajes	37	33

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 10 mostra o planejamento da execução dos 11 pilares fabricados no pátio do canteiro de obras. Comparando-se com a Tabela 6 do item 4.1 percebe-se que os pilares foram lançados quando atingiram o tempo mínimo de cura para içamento, não ficando estocados no próprio pátio ou no canteiro.

Tabela 10 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra

Pilar	Início	Término	Duração	Lançamento	Tempo de estocagem
P07	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P09	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P10	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P13	14/08/2018	23/08/2018	10	05/09/2018	0
P14	14/08/2018	23/08/2018	10	05/09/2018	0
P17	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P18	14/08/2018	23/08/2018	10	05/09/2018	0
P19	14/08/2018	23/08/2018	10	05/09/2018	0
P21	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P22	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P23	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 11 mostra as quantidades de locações necessárias para lançamento de toda a estrutura pré-fabricada para este cenário. Comparando-se com a Tabela 7 do item 4.2 percebe-se uma redução muito significativa, chegando a R\$ 93.000,00. Isto foi resultado da utilização máxima da capacidade de lançamento diário do guindaste, associado a solução do problema 4 do quadro 13, referente a sequência

de lançamento mal planejada, evitando a necessidade de locação do guindaste de 300 toneladas.

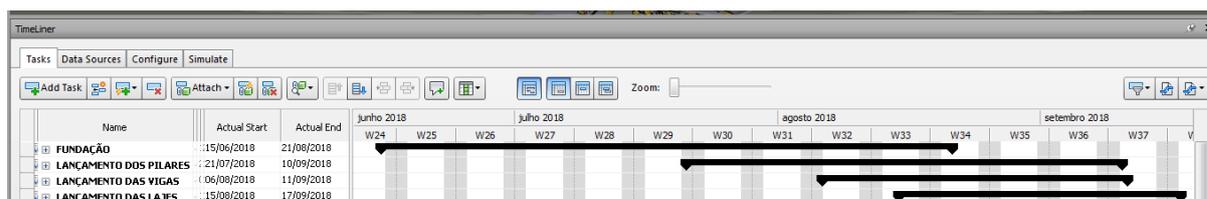
Tabela 11 – Resumo da locação de guindaste cenário simulado 1

Cenário simulado 1					
Item	Equipamento local	Diárias	Custo diária	Total	
1	Guindaste 220 ton	19	R\$ 5.000,00	R\$	95.000,00
2	Guindaste 300 ton	0	R\$ 0,00	R\$	0,00
Total				R\$	95.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 15 mostra o gráfico de Gantt obtido pelo Navisworks do cenário alternativo 1 com as atividades de estudo desta pesquisa.

Figura 15 – Gráfico de Gantt simulação de cenário 1



Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3.2 Simulação do cenário proposto 2

A simulação do cenário 2 também utiliza o modelo 4D do cenário real, aproveitando as seleções (*sets*) já criadas no Navisworks.

No Apêndice C é apresentada a tabela exportada do Navisworks no formato csv e editada no Excel, contendo detalhadamente as novas datas de execução da fundação e do lançamento de cada um dos elementos da estrutura. A Tabela 12 apresenta o resumo da tabela completa para possível comparação com os demais cenários.

No apêndice D está o *link* que permite a visualização da simulação em formato de vídeo sem edições, exportado do Navisworks no formato avi.

Tabela 12 – Resumo do planejamento das atividades do cenário alternativo 2

#	Serviço	Preço (R\$)	%	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	Fundação	495.000,00	100,00%				
1.1	Blocos de fundação	495.000,00	100,00%	20%	41%	39%	
2	Estrutura de concreto	2.239.000,00	100,00%				
2.1	Contratação	0,00					
2.2	Projeto e fabricação	800.000,00	36%	18%	18%		
2.3	Lançamento dos pilares	561.000,00	25%		4%	13%	7%
2.4	Lançamento das vigas	224.000,00	10%		1%	5%	4%
2.5	Lançamento das lajes	504.000,00	23%			11%	12%
2.6	Capa da laje 6800	150.000,00	7%			1%	6%
				502.020,00	717.920,00	864.750,00	649.310,00
			Acumulado	502.020,00	1.219.940,00	2.084.690,00	2.734.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 13 faz a comparação entre o cenário proposto 2, cenário proposto 1 cenário real de execução da obra, mostrando a diferença de duração de cada atividade e a redução em relação ao cenário real proporcionada pelo planejamento detalhado com uso da ferramenta BIM 4D.

A atividade de fundação teve uma redução na duração de 15 dias em relação ao cenário real e um aumento de 8 dias em relação ao cenário alternativo 1. Já a atividade de lançamento dos pilares teve uma redução de 20 dias em relação ao cenário real e um aumento de 10 dias em relação ao cenário alternativo 1. As atividades de lançamento das vigas e lajes tiveram um aumento no tempo de execução de 6 e 13 dias respectivamente em relação ao cenário real. O aumento em relação ao cenário alternativo 1 foi de 18 e 17 dias respectivamente.

Mesmo com os aumentos na duração destas duas atividades, o tempo total de execução do lançamento da estrutura de concreto teve uma redução de 15 dias em relação ao cenário real e 8 dias em relação ao cenário proposto 1.

A simulação do cenário proposto 2 permitiu a visualizar as consequências ocasionadas pela decisão de priorizar o capeamento da laje da etapa 1, ocorrendo um aumento de 9 dias na duração total da obra em relação ao cenário proposto 1. Já em relação ao cenário real de execução da obra, houve uma redução de 24 dias na duração total da obra.

Tabela 13 – Duração das atividades do cenário proposto 2 versus cenário alternativo 1 e cenário real

Serviço	Duração em dias		
	Cenário Real	Cenário Alternativo 1	Cenário Alternativo 2
<u>Fundação</u>	90	67	75
<u>Estrutura de concreto</u>	91	58	67
Lançamento dos pilares	81	51	61
Lançamento das vigas	48	36	54
Lançamento das lajes	37	33	50

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 14 mostra o planejamento da execução dos 11 pilares fabricados no pátio do canteiro de obras. Assim como no cenário 1, os pilares foram lançados quando atingiram o tempo mínimo de cura para içamento, não ficando estocados no próprio pátio ou no canteiro.

Tabela 14 – Planejamento dos pilares fabricados no pátio do canteiro de obra

Pilar	Início	Término	Duração	Lançamento	Tempo de estocagem
P07	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P09	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P10	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P13	27/06/2018	07/07/2018	10	21/07/2018	0
P18	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P19	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P14	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P17	21/07/2018	31/07/2018	10	14/08/2018	0
P21	14/08/2018	24/08/2018	10	10/09/2018	0
P22	14/08/2018	24/08/2018	10	10/09/2018	0
P23	14/08/2018	24/08/2018	10	10/09/2018	0

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Tabela 15 mostra as quantidades de locações necessárias para lançamento de toda a estrutura pré-fabricada para o cenário 2. Comparando-se com o quadro 15 do item 4.2 percebe-se uma redução significativa de R\$ 83.000,00. Isto foi resultado da utilização máxima da capacidade de lançamento diário do guindaste e por ter sido evitado o problema 4 do Quadro 9 referente a sequência de lançamento mal planejada, evitando a necessidade de locação do guindaste de 300 toneladas. Em

relação ao cenário alternativo 1, houve um aumento de 2 locações devido a priorização do término da etapa 1 de lançamento das lajes para posterior capeamento.

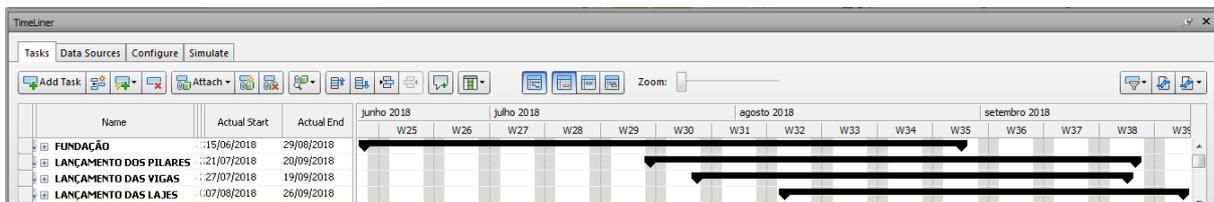
Tabela 15 – Resumo da locação de guindaste cenário simulado 2

Cenário simulado 2					
Item	Equipamento local	Diárias	Custo diária		Total
1	Guindaste 220 toneladas	21	R\$ 5.000,00	R\$	105.000,00
2	Guindaste 300 toneladas	0	R\$ 0,00	R\$	0,00
Total				R\$	105.000,00

Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 16 mostra o gráfico de Gantt obtido pelo Navisworks do cenário alternativo 2 com as atividades de estudo desta pesquisa.

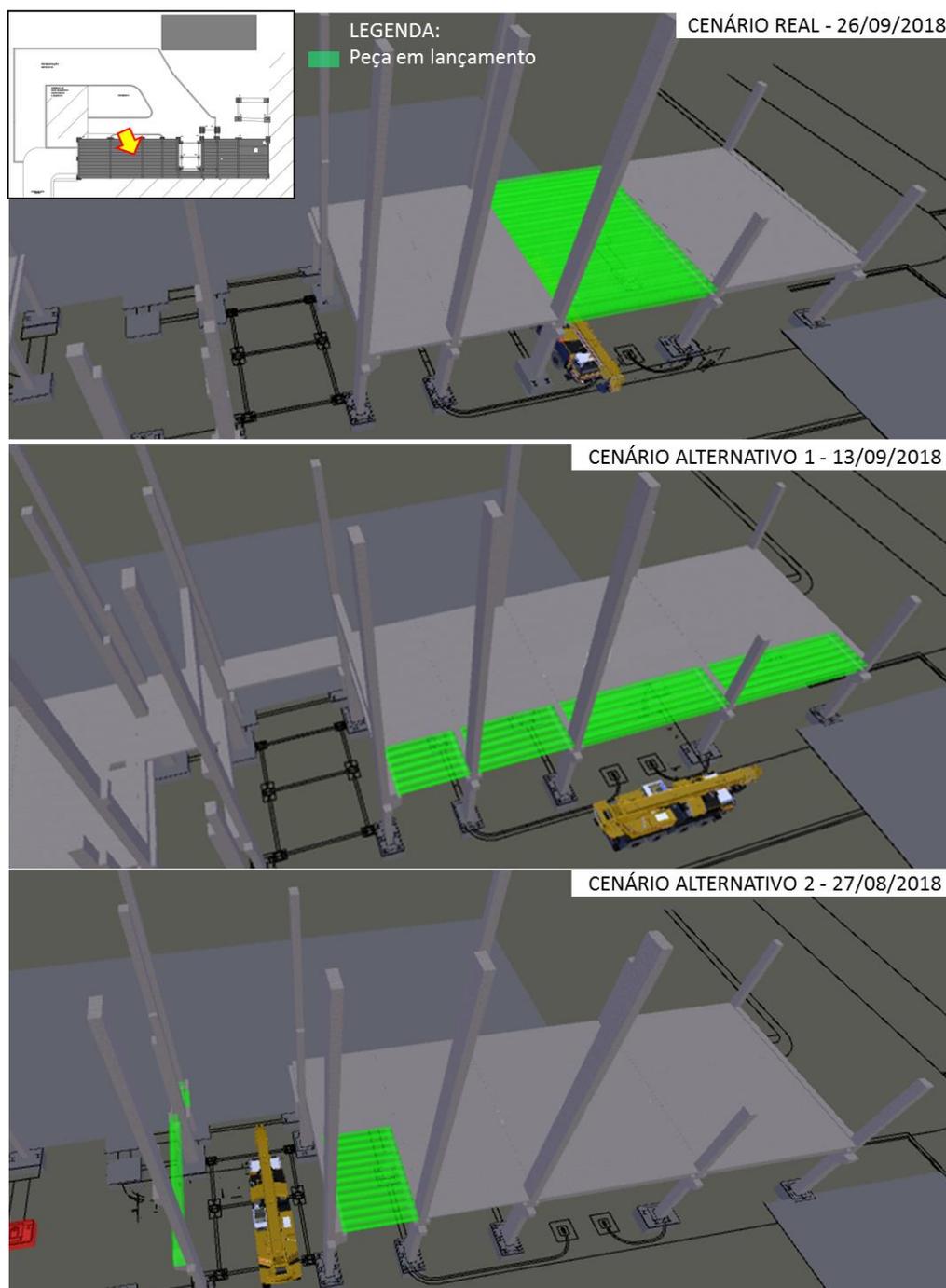
Figura 16 – Gráfico de Gantt simulação de cenário 2



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 17 mostra que o objetivo de iniciar a primeira área de capeamento da laje no menor tempo possível foi alcançado nesta simulação. Em relação ao cenário real foram 30 dias de antecedência e em relação ao cenário alternativo 1 foram 17 dias.

Figura 17 – Comparação liberação da etapa 1 para capeamento da laje



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da análise dos dois cenários propostos e seus objetivos, fica claro que em relação ao cenário real de execução os dois apresentam resultados mais eficientes quanto à redução na duração total das atividades de estudo, redução de gastos com locação de guindaste e solução dos demais problemas a partir das restrições estabelecidas para as simulações. Ao se analisar e comparar os cenários propostos entre si, mesmo o cenário proposto 1 tendo um tempo menor de duração

total das atividades de estudo, não se pode definir qual tem melhor resultado, uma vez que os objetivos são diferentes e, numa situação hipotética, o cenário proposto 2 pode reduzir o tempo total de execução da obra ou custos de outras atividades que não fazem parte deste estudo.

Essa possibilidade de análise e escolha reforça a importância do uso do BIM 4D para planejamento e controle de obras de construção civil. Os profissionais podem fazer diversas simulações e análises para, em conjunto com a equipe do empreendimento, escolher o método de execução mais eficiente. (EASTMAN et al, 2014).

4.4 ANÁLISE DAS DIFICULDADES E BENEFÍCIOS DO USO DO BIM

Durante esta pesquisa foram identificados os benefícios e dificuldades do uso da metodologia BIM no planejamento de obras e que são apresentados no quadro 10. Muitos destes benefícios e dificuldades se assemelham aos apontados no estudo realizado por Silva, Crippa e Scheer (2019) e que estão presentes nos quadros 1 e 2 item 2.3.1 deste trabalho. Assim como no estudo destes autores, o maior benefício observado foi relacionado à otimização do processo construtivo. A elaboração deste estudo demandou muito tempo de trabalho para elaboração da modelagem 4D, o que se confirma com o estudo de Silva, Crippa e Scheer (2019) que apontou esta dificuldade como a segunda maior.

Em relação aos programas utilizados, um dos principais benefícios observados foi a interoperabilidade entre eles, onde qualquer alteração realizada no modelo no Revit seja adicionar, excluir e movimentar elementos, é automaticamente atualizado no Navisworks. Outro benefício é que o Navisworks permite alterar a posição, aparência e ocultar os elementos em sua própria janela, sem a necessidade de alterar no modelo elaborado no Revit.

Quadro 10 – Benefícios e dificuldades na utilização da tecnologia BIM observados

Benefícios
Visualização e otimização do processo de construção
Visualização do fluxo de equipamentos
Gerenciamento logístico do canteiro mais eficaz
Deteção de erros e problemas potenciais antes da execução
Simulação do processo construtivo e de diversos cenários alternativos
Redução de custos
Redução da duração geral da obra
Tornar o ambiente de trabalho mais colaborativo
Dificuldades
Grande consumo de tempo de trabalho modelagem
Grande consumo de tempo para associação do modelo ao cronograma
Alta solicitação de desempenho de <i>hardware</i> pelos programas

Fonte: Elaborado pelo autor

Este trabalho foi baseado em dados históricos de uma obra real, mas é possível replicar este modelo em uma obra nova que utilize sistemas pré-fabricados, uma vez que as informações necessárias para elaboração das simulações dos diferentes cenários são obtidas ainda na etapa de projeto. A partir da análise destes cenários, é possível identificar possíveis problemas antes da execução real da edificação e escolher a melhor sequência executiva. Sendo isto o maior benefício do BIM para o planejamento observado no decorrer deste trabalho.

5 CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido estudou a aplicação da metodologia BIM 4D para fins de planejamento de médio prazo de uma obra de tipologia industrial, com foco voltado para a logística do canteiro de obras. A base deste trabalho é o estudo de caso de uma obra já executada, que não utilizou a tecnologia BIM em nenhuma fase. Foram exploradas as funcionalidades oferecidas pelos *softwares* Revit e Navisworks, elaborando-se a modelagem dos elementos das atividades de estudo que foram associados ao cronograma.

A partir de uma análise detalhada de todo o histórico da obra, foram levantados os principais problemas ocorridos em sua execução que estavam relacionados ao planejamento logístico. Com base neste levantamento elaborou-se a simulação do cenário real de execução e de dois cenários alternativos, que buscaram solucionar os problemas identificados seguindo restrições determinadas. Nestes cenários propostos, foi realizada a integração entre o planejamento e controle da produção e a logística do canteiro de obras através do uso da modelagem BIM 4D. Nos dois cenários de execução propostos foram solucionados todos os problemas levantados no cenário real como: estoque dos pilares maiores no canteiro de obra; redução do número total de locações de guindaste; necessidade de locação de guindaste de maior capacidade e redução na duração das atividades. Como resultados mais significativos dos cenários proposto 1 e 2, estão a redução de gastos com locação de guindaste de R\$ 93.000,00 e R\$ 83.000,00, respectivamente e redução na duração da atividade de lançamento da estrutura pré-fabricada de 33 e 24 dias, respectivamente.

Além dos benefícios já citados, foram percebidas as demais potencialidades, benefícios e dificuldades do uso do BIM. Entre os principais benefícios está a melhor visualização da sequência construtiva e de fluxos do canteiro e a detecção de erros potenciais. Vale ressaltar que, mesmo este estudo de caso ser baseado em dados históricos, este modelo pode ser aplicado em obras novas. Os erros potenciais da sequência construtiva podem ser identificados antes da execução real do projeto, pois a maioria das informações utilizadas na elaboração das simulações é obtida na fase de projeto.

As principais dificuldades observadas na elaboração deste estudo estão relacionadas ao grande consumo de tempo de trabalho, tanto para a modelagem no

Revit quanto para associação do cronograma ao modelo no Navisworks, principalmente pelos dados temporais terem sido inseridos manualmente no programa.

REFERÊNCIAS

- AGAPIOU, Andrew *et al.* The role of logistics in the materials flow control process.
- AKINCI, Burcu *et al.* Representing work spaces generically in construction method models. **Journal of Construction engineering and Management**, [s. l.], v. 128, n. 4. p. 296-305, Aug. 2002.
- ALDER, Morgan Adam. **Comparing time and accuracy of building information modeling to on-screen takeoff for a quantity takeoff of a conceptual estimate**. 2006. Thesis (Master of Science) – School of Technology, Brigham Young University, Provo, 2006. Disponível em: <https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1508&context=etd>. Acesso em: 10 fev. 2020.
- ALVES, Thaís. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: proposta baseada em estudo de caso**. 2000. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2000.
- AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS (AIA), **THE. G202TM - 2013**: Project Building Information Modeling Protocol Form. United States of America, 2013.
- ASSED, José Alexandre. **Construção civil viabilidade planejamento controle**. Rio de Janeiro: LTC, 1986.
- AUTODESK. Autodesk Softwares. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/>. Acesso em 20 fev. 2020.
- BACCARINI, David. The concept of project complexity: a review. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222461061_The_concept_of_project_complexity_-_A_review#fullTextFileContent. Acesso em: Acesso em 10 mar. 2020.
- BAIA, Denize; Miranda, A. C. O.; LUKE, Washington Gutemberg. Uso de ferramentas BIM para o melhor planejamento de obras da Construção Civil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 4., 2014, Ponta Grossa. **Anais** [...]. Ponta Grossa: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (CONBRPRO), dez. 2014. p. 03–05.
- BARISON, Maria Bernadete; SANTOS, Eduardo Toledo. Ensino de BIM: tendências atuais no cenário internacional. *In*: Portal de revistas da USP. Gestão & Tecnologia de Projetos. São Carlos, v. 6, n. 2, p. 67-80, dez. 2011.
- BENTLEY SYSTEMS. INCORPORATED. ConstructSim V8i. Exton, c2014a. Não paginado. Disponível em: <https://www.bentley.com/en-US/Products/ConstructSim/>. Acesso em: 14 dez. 2019.
- BERNARDES, Maurício Moreira e Silva. **Planejamento e controle da produção para empresas de construção civil**. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 200 p.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Coletânea Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras**. Brasília: [s. n.], 2016a. v. 3: Colaboração e Integração BIM. 132 p. Disponível em: http://sindusconbc.com.br/wp-content/uploads/2016/10/VOLUME-_3.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Coletânea Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras**. Brasília: [s. n.], 2016b. v. 2: Implementação BIM. 72 p. Disponível em: http://sindusconbc.com.br/wp-content/uploads/2016/10/VOLUME-_2.pdf. Acesso em: 15 mar. 2020.

CHAU, K. W.; ANSON, M.; ZHANG, J. P. Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization. **Journal of Construction engineering and Management**, [s. l.], v. 130, n. 4, p. 598-606, Aug. 2004. **Construction Management & Economics**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 131-137, 1998.

EASTMAN, Chuck *et al.* **Manual de BIM**: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FORMOSO, Carlos Torres. **A knowledge based framework for planning house building projects**. Thesis (Doctor of Salford) – Department of Quantity and Building Surveying, University of Salford, Greater Manchester, 1991. Disponível em: <https://usir.salford.ac.uk/id/eprint/14738/1/D094643.pdf>. Acesso em: XX xxx. 2020.

FOUQUET, Jean., SERRA, Sheyla. M. B. Planejamento de edifícios através de software 4D. *In*: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL (TIC 2011), 5., 2011, Salvador: The Journal of Modern Project Management, 2011.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de Produção, mais do que simplesmente just-in-time**. Caxias do Sul: EDUCS, 1996. 177 p.

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004.

HALPIN, Daniel. W.; WOODHEAD, Ronald. W. **Administração da Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HARTMANN, Timo *et al.* Aligning building information model tools and construction management methods. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 22, p. 605–613, Mar. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580511002366?via%3Di> hub. Acesso em: 12 fev. 2020.

HARTMANN, Timo; GAO, Ju; FISCHER, Martin. Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 143, n. 10, p. 776-785, Oct. 2008.

JANG, Hyounsetmg; LEE, Sangyoub; CHOI, Seokin. Optimization of floor-level construction material layout using Genetic Algorithms. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 531-545, jun. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223915145_Optimization_of_floor-level_construction_material_layout_using_Genetic_Algorithms. Acesso em 18 jan. 2020.

KOO, Bonsang; FISCHER, Martin. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, Reston, v. 126, n. 4, p. 251–260, Jul. 2008. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282000%29126%3A4%28251%29>. Acesso em: 6 fev. 2020.

KYMMELL, Willem. **Building Information Modeling**: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.

LAUFER, Alexander.; TUCKER, R. L. Competence and timing dilemma in construction planning. **Construction Management and Economics**, London, v. 6, n. 4, p. 339-355, 28 Jul. 2006

LEITE, Fernanda *et al.* Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 20, n. 5, p. 601–609, Jul. 2011.

MATTOS, Aldo Dorea. **Planejamento e controle de obras**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

MCCOOL, Dave; HARDIN, Brad. **BIM and construction management**. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2015. 416 p.

NASCIMENTO, Luiz Antônio do; SANTOS, Eduardo Toledo. A indústria da construção na era da informação. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2003. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3443/1857>. Acesso em 3 abr. 2020.

NOBLE, Douglas; KENSEK, Karen. **Building Information Modeling**: BIM in current and future practice. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 2014. 432 p.

PAPAMICHAEL, Konstantinos. Application of Information Technologies in Building Design Decisions. **Building Research & Information**, [s. l.], v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Qualidade na construção civil**. 1. ed. [s.l.]: Érica, 2014. 120 p.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENTELD, O. Visualization of work flow to support lean construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [s. l.], v. 135, n. 12, p. 1307-1315. Dec. 2009.

SAINI, Vijay Kumar; MHASKE, Sumedh. BIM based Project Scheduling and Progress Monitoring in AEC Industry. **International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 2347-3878, 2013. Disponível em: <https://www.ijser.in/archives/v1i1/MDMxMzA5MjM=.pdf>. Acesso em: 9 jan. 2020.

SHEN, Weiming *et al.* Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 196–207, Mar. 2010.

SILVA, Paula Heloisa da; CRIPPA, Julianna; SCHEER, Sergio. BIM 4D no planejamento de obras: detalhamento, benefícios e dificuldades. **PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e01901, fev. 2019. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650258/19196>. Acesso em: 26 fev. 2019.

SMITH, Peter. BIM & the 5D project cost manager. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, 2014, 119: 475-484.

TEIXEIRA, Luciane Pires; CARVALHO, Fátima Marília Andrade de. A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira. **Revista paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, n. 109, p. 9-26, jul./dez. 2005.

TOMMELEIN, Iris D. **Acknowledging variability and uncertainty in product and process development**. Netherlands: Swets & Zeitlinger, Lisse, 2003.

TOMMELEIN, Iris D. Materials Handling and Site Layout Control. **The international association for automation and robotics in construction XI**, [s. l.], p. 297-304, 1994. Disponível em: https://www.iaarc.org/publications/fulltext/Materials_handling_and_site_layout_control.I.PDF. Acesso em: 6 fev. 2020.

TOMMELEIN, Iris D.; WEISSENBERGER, Markus, More Just-in-time: Location of buffers in structural steel supply and construction processes. *In*: **Proceedings IGLC**. 1999. p. 109.

VARALLA, Ruy. **Planejamento e controle de obras**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

VICO SOFTWARE. Vico Software. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.vico-ndbim.com/>. Acesso em 22 fev. 2020.

WANG, H. J. *et al.* 4D dynamic management for construction planning and resource utilization. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 13, n. 5, p. 575-589, Sep. 2004. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580504000251>. Acesso em 28 fev. 2020

YIN, Roberto K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª Ed. Porto Alegre. Editora: Bookmam. 2001.

**APÊNDICE A – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO REAL
EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL**

Descrição	Início	Término	Duração (dias)	Custo
FUNDAÇÃO	12/06/2018	13/09/2018	93	R\$ 495.000,00
BLOCO P01	21/07/2018	09/08/2018	19	R\$ 15.000,00
BLOCO P02	29/07/2018	10/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P03	29/07/2018	10/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P04	10/07/2018	26/07/2018	16	R\$ 15.000,00
BLOCO P05	29/07/2018	14/08/2018	16	R\$ 15.000,00
BLOCO P06	05/08/2018	16/08/2018	11	R\$ 15.000,00
BLOCO P07	05/07/2018	22/07/2018	17	R\$ 15.000,00
BLOCO P08	02/08/2018	15/08/2018	13	R\$ 15.000,00
BLOCO P09	09/08/2018	23/08/2018	14	R\$ 15.000,00
BLOCO P10	15/06/2018	07/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P11	02/08/2018	28/08/2018	26	R\$ 15.000,00
BLOCO P12	02/08/2018	28/08/2018	26	R\$ 15.000,00
BLOCO P13	15/06/2018	07/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P14	02/08/2018	10/08/2018	8	R\$ 15.000,00
BLOCO P15	09/08/2018	23/08/2018	14	R\$ 15.000,00
BLOCO P16	15/06/2018	03/07/2018	18	R\$ 15.000,00
BLOCO P17	17/06/2018	07/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P18	21/07/2018	05/09/2018	46	R\$ 15.000,00
BLOCO P19	21/07/2018	13/09/2018	54	R\$ 15.000,00
BLOCO P20	12/06/2018	04/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P21	13/06/2018	08/07/2018	25	R\$ 15.000,00
BLOCO P22	21/07/2018	05/09/2018	46	R\$ 15.000,00
BLOCO P23	21/07/2018	13/09/2018	54	R\$ 15.000,00
BLOCO P24	17/06/2018	07/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P25	20/06/2018	08/07/2018	18	R\$ 15.000,00
BLOCO P26	21/07/2018	02/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P27	21/07/2018	02/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P28	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P29	18/06/2018	09/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P30	21/07/2018	02/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P31	21/07/2018	02/08/2018	12	R\$ 15.000,00
BLOCO P32	17/06/2018	07/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P33	17/06/2018	07/07/2018	20	R\$ 15.000,00
LANÇAMENTO DOS PILARES	21/07/2018	10/10/2018	81	R\$ 561.000,00
LANÇAMENTO P01	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$ 17.000,00

LANÇAMENTO P02	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P03	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P04	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P05	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P06	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P07	29/08/2018	29/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P08	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P09	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P10	13/09/2018	13/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P11	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P12	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P13	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P14	28/08/2018	28/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P15	13/09/2018	13/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P16	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P17	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P18	09/10/2018	09/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P19	08/10/2018	08/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P20	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P21	10/10/2018	10/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P22	10/10/2018	10/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P23	09/10/2018	09/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P24	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P25	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P26	29/08/2018	29/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P27	29/08/2018	29/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P28	09/10/2018	09/10/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P29	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P30	29/08/2018	29/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P31	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P32	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P33	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
TERRAPLANAGEM ESC1	13/08/2018	10/09/2018	28		
LANÇAMENTO DAS VIGAS	28/08/2018	15/10/2018	48	R\$	224.000,00
LANÇAMENTO V01	28/08/2018	28/08/2018	0	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO V02	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI01A	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI02A	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI03	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04b	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04c	15/10/2018	15/10/2018	1	R\$	16.000,00

LANÇAMENTO VI05	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06b	15/10/2018	15/10/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06c	10/10/2018	10/10/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI07b	15/10/2018	15/10/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI12	10/10/2018	10/10/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VS2	10/10/2018	10/10/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO DAS LAJES	13/09/2018	20/10/2018	37	R\$ 504.000,00
LANÇAMENTO L16	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17a	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17b	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17c	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17d	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17e	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17f	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17g	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17h	19/10/2018	19/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L21	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22a	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22b	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22c	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22d	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22e	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22f	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22g	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22h	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22i	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22j	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22k	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ01e	25/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02	13/09/2018	13/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02b	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02c	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02d	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02e	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02f	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02G	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02h	25/09/2018	25/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02i	25/09/2018	25/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02j	25/09/2018	25/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02k	25/09/2018	25/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04a	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04b	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00

LANÇAMENTO LJ04c	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04d	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04e	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04f	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04g	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04h	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04i	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04j	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04k	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04l	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ05	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ05a	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06a	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06b	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06c	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06d	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06e	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06f	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06g	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06h	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06i	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06L	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ08	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09a	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09b	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09c	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09d	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09e	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09f	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09g	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09h	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09i	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ10	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ11	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ12	21/09/2018	21/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ13	18/10/2018	18/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ14	18/10/2018	18/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ15	18/10/2018	18/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ19	18/10/2018	18/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ20	18/10/2018	18/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ25	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ26	20/10/2018	20/10/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27a	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00

LANÇAMENTO LJ27b	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27c	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27d	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27e	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27f	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27g	29/09/2018	29/09/2018	1	R\$	6.000,00

**APÊNDICE B – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO 1
EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL**

Descrição	Início	Término	Duração (dias)	Custo
FUNDAÇÃO	15/06/2018	21/08/2018	67	R\$ 495.000,00
BLOCO P01	07/07/2018	27/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P02	07/07/2018	27/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P03	07/07/2018	27/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P04	10/07/2018	30/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P05	10/07/2018	30/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P06	07/07/2018	27/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P07	10/07/2018	30/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P08	14/07/2018	31/07/2018	17	R\$ 15.000,00
BLOCO P09	10/07/2018	30/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P10	10/07/2018	30/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P11	04/07/2018	24/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P12	04/07/2018	24/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P13	01/08/2018	21/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P14	01/08/2018	21/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P15	04/07/2018	24/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P16	01/08/2018	21/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P17	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P18	01/08/2018	21/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P19	01/08/2018	21/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P20	20/06/2018	10/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P21	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P22	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P23	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P24	02/07/2018	22/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P25	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P26	17/06/2018	09/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P27	17/06/2018	09/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P28	17/06/2018	22/07/2018	35	R\$ 15.000,00
BLOCO P29	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P30	17/06/2018	09/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P31	17/06/2018	09/07/2018	22	R\$ 15.000,00
BLOCO P32	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P33	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
LANÇAMENTO DOS PILARES	21/07/2018	10/09/2018	51	R\$ 561.000,00
LANÇAMENTO P01	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 17.000,00

LANÇAMENTO P02	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P03	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P04	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P05	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P06	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P07	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P08	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P09	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P10	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P11	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P12	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P13	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P14	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P15	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P16	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P17	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P18	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P19	05/09/2018	05/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P20	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P21	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P22	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P23	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P24	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P25	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P26	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P27	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P28	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P29	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P30	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P31	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P32	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$	17.000,00
LANÇAMENTO P33	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$	17.000,00
TERRAPLANAGEM ESC1	13/08/2018	10/09/2018	28		
LANÇAMENTO DAS VIGAS	06/08/2018	11/09/2018	36	R\$	224.000,00
LANÇAMENTO V01	13/08/2018	13/08/2018	0	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO V02	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI01A	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI02A	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI03	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04b	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	16.000,00
LANÇAMENTO VI04c	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$	16.000,00

LANÇAMENTO VI05	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06b	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06c	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI07b	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI12	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VS2	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO DAS LAJES	15/08/2018	17/09/2018	33	R\$ 504.000,00
LANÇAMENTO L16	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17a	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17b	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17c	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17d	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17e	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17f	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17g	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L17h	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L21	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22a	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22b	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22c	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22d	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22e	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22f	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22g	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22h	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22i	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22j	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO L22k	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ01e	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02b	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02c	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02d	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02e	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02f	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02G	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02h	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02i	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02j	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02k	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04a	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04b	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$ 6.000,00

LANÇAMENTO LJ04c	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04d	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04e	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04f	12/09/2018	12/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04g	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04h	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04i	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04j	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04k	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ04l	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ05	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ05a	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06a	06/09/2018	06/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06b	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06c	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06d	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06e	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06f	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06g	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06h	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06i	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ06L	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ08	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09a	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09b	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09c	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09d	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09e	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09f	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09g	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09h	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ09i	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ10	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ11	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ12	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ13	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ14	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ15	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ19	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ20	17/08/2018	17/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ25	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ26	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27a	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00

LANÇAMENTO LJ27b	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27c	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27d	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27e	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27f	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00
LANÇAMENTO LJ27g	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$	6.000,00

**APÊNDICE C – PLANEJAMENTO DA SIMULAÇÃO DO CENÁRIO PROPOSTO 2
EXPORTADO DO NAVISWORKS NO FORMATO CSV E EDITADO NO EXCEL**

Descrição	Início	Término	Duração (dias)	Custo
FUNDAÇÃO	15/06/2018	29/08/2018	75	R\$ 495.000,00
BLOCO P01	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P02	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P03	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P04	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P05	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P06	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P07	15/06/2018	05/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P08	23/06/2018	13/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P09	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P10	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P11	02/07/2018	22/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P12	02/07/2018	22/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P13	15/06/2018	06/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P14	10/07/2018	31/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P15	02/07/2018	22/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P16	24/07/2018	13/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P17	10/07/2018	31/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P18	10/07/2018	31/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P19	10/07/2018	31/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P20	05/08/2018	26/08/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P21	05/08/2018	26/08/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P22	05/08/2018	26/08/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P23	05/08/2018	26/08/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P24	08/08/2018	28/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P25	09/08/2018	29/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P26	09/08/2018	29/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P27	12/07/2018	01/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P28	12/07/2018	01/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P29	10/07/2018	31/07/2018	21	R\$ 15.000,00
BLOCO P30	13/07/2018	02/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P31	11/07/2018	31/07/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P32	11/08/2018	31/08/2018	20	R\$ 15.000,00
BLOCO P33	07/07/2018	27/07/2018	20	R\$ 15.000,00
LANÇAMENTO DOS PILARES	21/07/2018	20/09/2018	61	R\$ 561.000,00
LANÇAMENTO P1	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P10	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P11	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$ 17.000,00

LANÇAMENTO P12	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P13	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P14	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P15	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P16	28/08/2018	28/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P17	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P18	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P19	14/08/2018	14/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P2	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P20	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P21	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P22	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P23	10/09/2018	10/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P24	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P25	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P26	11/09/2018	11/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P27	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P28	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P29	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P3	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P30	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P31	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P32	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P33	16/08/2018	16/08/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P4	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P5	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P6	23/07/2018	23/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P7	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P8	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO P9	21/07/2018	21/07/2018	1	R\$ 17.000,00
LANÇAMENTO DAS VIGAS	27/07/2018	19/09/2018	54	R\$ 224.000,00
LANÇAMENTO V1	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO V2	27/07/2018	27/07/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI01A	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI02A	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI03	06/08/2018	06/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI04	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI04b	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI04c	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI05	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06b	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI06c	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI07b	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO VI12	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 16.000,00

LANÇAMENTO VS2	17/09/2018	17/09/2018	1	R\$ 16.000,00
LANÇAMENTO DAS LAJES	07/08/2018	26/09/2018	1	R\$ 504.000,00
LANÇAMENTO LJ01e	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02b	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02c	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02d	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02e	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02f	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02g	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02h	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02i	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02j	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ02k	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ03	07/08/2018	07/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04a	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04b	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04c	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04d	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04e	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04f	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04g	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04h	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04i	10/08/2018	10/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04j	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04k	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ04l	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ05	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ05a	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06a	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06b	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06c	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06d	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06e	13/08/2018	13/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06f	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06g	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06h	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06i	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ06L	15/08/2018	15/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09a	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09b	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09c	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09d	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09e	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09f	27/08/2018	27/08/2018	1	R\$ 6.000,00

LANÇAMENTO LJ09g	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09h	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ09i	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ10	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ11	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ12	23/08/2018	23/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ13	28/08/2018	28/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ14	28/08/2018	28/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ15	28/08/2018	28/08/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ16	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17a	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17b	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17c	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17d	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17e	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17f	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17g	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ17h	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ18	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ19	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ20	18/09/2018	18/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ21	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22a	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22b	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22c	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22d	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22e	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22f	19/09/2018	19/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22g	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22h	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22i	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22j	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ22k	20/09/2018	20/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ25	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ26	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27a	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27b	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27c	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27d	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27e	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27f	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00
LANÇAMENTO LJ27g	26/09/2018	26/09/2018	1	R\$ 6.000,00

APÊNDICE D – *LINKS* PARA OS VÍDEOS DAS SIMULAÇÕES EXPORTADAS DO NAVISWORKS

Cenário real:

<https://drive.google.com/file/d/1h6WxPowKxDw0lkgjzHmBFynZwu70PfK/view?usp=sharing>

Cenário proposto 1:

<https://drive.google.com/file/d/1IE0brxY5Fp50kZNP1AnkepkuDsaajwQI/view?usp=sharing>

Cenário proposto 2:

https://drive.google.com/file/d/10oXL4xuMC1T_g5W5dM57EOau3fns1SB_/view?usp=sharing