

Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Escola de Engenharia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**MÉTODO PARA PROJETO E PLANEJAMENTO DE  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM  
USO DA MODELAGEM BIM 4D**

**Clarissa Notariano Biotto**

Orientador: Carlos Torres Formoso

Co-orientador: Eduardo Luís Isatto

Porto Alegre

2012

CLARISSA NOTARIANO BIOTTO

**MÉTODO PARA PROJETO E PLANEJAMENTO DE  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM  
USO DA MODELAGEM BIM 4D**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Porto Alegre  
2012

**CLARISSA NOTARIANO BIOTTO**

**MÉTODO PARA PROJETO E PLANEJAMENTO DE  
SISTEMAS DE PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL COM  
USO DA MODELAGEM BIM 4D**

Porto Alegre, 26 de Novembro de 2012

Prof. Carlos Torres Formoso  
PhD pela University of Salford, Grã Bretanha  
Orientador

Prof. Eduardo Luís Isatto  
Doutor pela UFRGS  
co-orientador

Prof. Dr. Luis Carlos Pinto da Silva Filho  
Coordenador do PPGEC/UFRGS

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Patrícia Tzortzopoulos Fazenda (SALFORD)**  
PhD pela Salford University, Grã Bretanha

**Prof. Eduardo Toledo Santos (USP)**  
Doutor pela Universidade de São Paulo

**Prof. Andrea Parise Kern (UFRGS)**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Rosângela e Airton,  
pelo apoio incondicional às minhas escolhas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES pela concessão de bolsa de estudos que possibilitou a minha total dedicação à esta pesquisa.

Agradeço ao Prof. Formoso, pela dedicação e paciência durante sua orientação em meu trabalho, sempre tentando me fazer enxergar além. Agradeço também por me aceitar como orientanda e dar início ao meu crescimento profissional nestes dois intensos anos de estudo. Creio que o que aprendi nesta experiência de mestrado no NORIE levarei comigo por toda minha vida. Deixo aqui o meu muito obrigada.

Agradeço ao Prof. Isatto, o qual me orientou ao longo desses anos, sempre com boas e amplas ideias sobre o tema, me motivando a buscar novos caminhos para pesquisa e ensino.

Agradeço aos meus pais maravilhosos que sempre me apoiaram, incentivaram e valorizam o conhecimento dentro de casa. Obrigada pela linda família que somos. Obrigada aos meus irmãos, aos meus tios, minhas avós, minhas primas e primos por todo amor recebido.

Agradeço ao Bruno, pelo imenso amor e carinho que tem me dedicado durante esses anos. Obrigada pela paciência com minha pessoa, por estar sempre ao meu lado nos momentos difíceis enfrentados no caminho até aqui. Obrigada por me fazer tão feliz e tentar me fazer ver o mundo com o olhar da simplicidade e do otimismo. Agradeço também à família maravilhosa que adentrei nestes últimos anos. À minha mãe e ao meu pai posições pela compreensão e paciência com meu temperamento em épocas de euforia dissertativa!

Obrigada à minha cunhadinha, que além de engenheira e arquiteta é uma ótima designer de figuras! Muito obrigada por ceder parte do seu tempo em me ajudar, me acalmar e levar o Tarê à minha casa para nos alegrar. Agradeço também à Ana, por manter minha alimentação saudável, permitindo meu maior rendimento durante a escrita dessa dissertação.

Obrigada aos meus amigos de turma, Amanda, Dani, Fabi, Marcelle e Marcus. A convivência com vocês me permitiu boas risadas e ótimos momentos de descontração em Porto Alegre. Vou sentir saudades! Obrigada mais que especial à Dani Dietz, por me fazer enxergar a luz no fim do túnel, e sempre discutir os conceitos da produção comigo: adoro! Obrigada à Ju Brito, pelas palhaçadas, momentos de café. Obrigada à Iamara, à Lisi, à Rosana, as bolsistas Ana, Mari, Rafaela, e a todos que fizeram parte dessa história e torceram por mim.

Falta de tempo é desculpa daqueles que  
perdem tempo por falta de métodos.

*Albert Einstein*

## RESUMO

BIOTTO, Clarissa Notariano. Método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com uso da modelagem BIM 4D. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

As atividades de projeto e planejamento de sistemas de produção na indústria da construção civil tendem a ser mais complexas em relação à manufatura pelo fato de que o produto (edificação) é fixo no espaço enquanto os recursos transformadores movimentam-se. Além disso, à medida que o empreendimento vai sendo construído, o leiaute é alterado, contribuindo para aumentar a complexidade destas atividades. O presente trabalho propõe o uso de modelagem 4D para a visualização espacial e temporal de empreendimentos de construção, pela introdução de BIM (*Building Information Modelling*) no projeto e planejamento de sistemas de produção. Em geral, os estudos prévios sobre modelagem 4D com o uso de BIM tiveram como foco decisões de planejamento de forma isolada, limitadas a processos construtivos específicos. Entretanto, pouco tem sido investigado sobre a implementação de modelos BIM 4D no projeto e na gestão de sistemas de produção no contexto organizacional de empresas de construção. Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver um método para o projeto e planejamento de sistemas de produção em empreendimentos de construção, com uso da modelagem BIM 4D. Esta pesquisa enquadra-se no modo de produção de conhecimento denominado de pesquisa construtiva (*constructive research*), que consiste em produzir construções inovadoras, com intenção de resolver problemas encontrados no mundo real, assim como contribuir com avanços teóricos sobre o tema em estudo. A pesquisa foi dividida em quatro etapas: revisão bibliográfica, fase exploratória, fase de desenvolvimento e fase de consolidação. As principais contribuições do trabalho são o próprio método proposto, uma discussão sobre os possíveis papéis da modelagem BIM 4D na tomada de decisão do projeto e planejamento de sistemas produção, e a identificação das principais dificuldades para a sua implementação.

Palavras-chave: modelagem; BIM; 4D; planejamento; projeto do sistema de produção.

## **ABSTRACT**

BIOTTO, Clarissa Notariano. Method for design and planning of production systems in construction using 4D BIM modeling. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

The activities of designing and planning production systems in construction tend to be more complex than in manufacturing due to the fact that the product (building) is stationary, while the transforming resources move around. Moreover, as the project is being built, the site layout changes over time, contributing to increase the complexity of those activities. This research work proposes the use of 4D models for spatial and temporal visualization of construction projects, by introducing BIM (Building Information Modeling) in the design and planning of production systems. In general, previous studies on the use of BIM for 4D modeling in construction have focused on isolated planning decisions, limited to specific construction processes. However, not much research has been made on the implementation of BIM 4D models in the design and planning of production systems in the organizational context of construction companies. Therefore, the aim of this research study is to devise a method for designing and planning production systems in construction projects, with the use of BIM 4D modeling. This research fits into the mode of knowledge production named constructive research which consists of producing innovative constructions, intended to solve problems found in the real world, as well as to contribute to theoretical developments in the theme being investigated. The study was divided into four stages: literature review, exploratory phase, development phase, and consolidation phase. The main contributions of the investigation are the proposed method, a discussion on the possible roles of BIM 4D in the decision making process involved in the design and planning of production systems, and the identification of the main difficulties in terms of implementation.

Keywords: Modeling, BIM, 4D, planning, production systems design

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	CONTEXTO.....	16
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA .....	19
1.3	QUESTÕES DE PESQUISA .....	22
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA .....	22
1.5	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	22
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	23
<b>2</b>	<b>GESTÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
2.1	SISTEMA DE PRODUÇÃO .....	24
2.2	GESTÃO DA PRODUÇÃO .....	25
2.3	PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO .....	26
2.4	PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	34
2.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
<b>3</b>	<b>MODELAGEM 4D.....</b>	<b>41</b>
3.1	CONCEITOS DE VISUALIZAÇÃO.....	41
3.2	BREVE HISTÓRIA DA MODELAGEM 4D.....	41
3.3	CONCEITOS DE MODELAGEM 4D.....	44
3.4	BIM ( <i>Building Information Modeling</i> ).....	45
3.5	MÉTODOS E FERRAMENTAS DE MODELAGEM 4D.....	48
3.6	IMPLANTAÇÃO DA MODELAGEM 4D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	51
3.7	DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE MODELOS 4D.....	54
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
<b>4</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>57</b>
4.1	ESTRATÉGIA DE PESQUISA .....	57
4.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	60
4.3	FASE EXPLORATÓRIA.....	62
4.4	FASE DE DESENVOLVIMENTO.....	69
4.5	FASE DE CONSOLIDAÇÃO.....	81
4.6	FONTES DE EVIDÊNCIAS .....	83

<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....</b>	<b>86</b>
5.1	ESTUDO EMPÍRICO 1 .....	86
5.2	ESTUDO EMPÍRICO 2 .....	96
5.3	ESTUDO EMPÍRICO 3 .....	113
5.4	ESTUDO EMPÍRICO 4 .....	130
5.5	DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	149
5.6	MÉTODO PARA USO DA MODELAGEM BIM 4D NA GESTÃO DA PRODUÇÃO 155	
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>167</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	167
6.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	171
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>173</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>180</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: representação do sistema de produção. ....	25
Figura 2: modelo geral de gerenciamento e estratégia de produção.....	26
Figura 3: elementos do projeto do sistema de produção. ....	27
Figura 4: modelo de elaboração do PSP para EHIS. ....	31
Figura 5: ciclo de planejamento.....	35
Figura 6: hierarquização do PCP.....	39
Figura 7: diferentes imagens 3D como resultado de um mau entendimento de desenho 2D...	45
Figura 8: planejamento da construção com base de um modelo computacional 4D.....	45
Figura 9: processo de modelagem 4D utilizando sistema CAD.....	49
Figura 10: processo de modelagem 4D utilizando sistema BIM.....	50
Figura 11: pré-condições e definições para implementar a modelagem BIM 4D. ....	56
Figura 12: elementos centrais da pesquisa construtiva.....	58
Figura 13: delineamento da Pesquisa. ....	60
Figura 14: quadro comparativo do processo de avaliação.....	64
Figura 15: <i>software</i> utilizados no processo de modelagem BIM 4D. ....	65
Figura 16: fluxo de informações entre os <i>software</i> utilizados no processo de modelagem BIM 4D. ....	66
Figura 17: ilustração de guarita e fachada e planta do apartamento do empreendimento L2 ..	67
Figura 18: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento L2.....	67
Figura 19: atividades realizadas no estudo empírico 1.....	69
Figura 20: fachada e implantação do empreendimento L3.....	70
Figura 21: apartamentos disponíveis no empreendimento L3.....	71
Figura 22: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento L3.....	71
Figura 23: atividades realizadas no estudo empírico 2.....	73
Figura 24: plantas e fachada das casas A, C, B1 e B2.....	75
Figura 25: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento M1.....	75
Figura 26: período de obra e quantidade de casas de cada fase de execução na implantação do empreendimento M1.....	76
Figura 27: atividades realizadas no estudo empírico 3.....	77
Figura 28: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento N1. ....	78
Figura 29: implantação do empreendimento N1, perspectiva da entrada do empreendimento e planta do pavimento tipo, com os dois modelos de apartamento de 2 dormitórios.....	79
Figura 30: atividades realizadas no estudo empírico 4.....	80
Figura 31: desdobramento do constructo utilidade. ....	81
Figura 32: desdobramento do constructo facilidade de uso. ....	82
Figura 33: quadro-resumo dos tipos de entrevista em cada estudo e as pessoas entrevistadas. ....	83

Figura 34: etapas de um empreendimento na empresa L. ....	86
Figura 35: DFD do processo de PCP na empresa L. ....	87
Figura 36: análises sobre LOB e histograma de equipes do empreendimento L2. ....	89
Figura 37: imagem exportada do modelo BIM 4D do planejamento do empreendimento L2. ....	90
Figura 38: fotos da subutilização do manipulador telescópico para fornecer materiais aos pavimentos. ....	90
Figura 39: <i>frame</i> do modelo BIM 4D para analisar os problemas de fluxo físico no empreendimento L2. ....	91
Figura 40: movimentação dos equipamentos no canteiro do empreendimento L2. ....	91
Figura 41: imagem exportada do modelo BIM 4D da simulação 1. ....	92
Figura 42: plano de longo prazo realizado pela técnica da LOB e histograma de equipes da simulação 1 do empreendimento L2. ....	93
Figura 43: plano de longo prazo realizada pela técnica da LOB e histograma de equipes da simulação 2 do empreendimento L2. ....	93
Figura 44: imagem exportada do modelo BIM 4D da simulação 2. ....	94
Figura 45: modelo do processo de modelagem BIM 4D realizado no estudo L2. ....	95
Figura 46: planejamento e análise do fluxo de trabalho utilizando a LOB, histograma de mão de obra e o modelo BIM 4D (baseado em Björnfot e Jongeling, 2007). ....	96
Figura 47: quadro resumo das atividades desenvolvidas no estudo empírico 2. ....	97
Figura 48: sequência de execução das atividades da unidade base do 16º pavimento da torre 2 do empreendimento L3. ....	97
Figura 49: linhas de balanço das torres 1 e 2 do empreendimento L3. ....	98
Figura 50: comparativo das sequências de execução das atividades entre o 4º e 16º pavimentos. ....	99
Figura 51: diagrama de sequenciamento das atividades do caminho crítico nas torres 1 e 2. ....	100
Figura 52: linha de balanço e histogramas de equipes e operários fornecidos pelo subempreiteiro J ao empreendimento. ....	101
Figura 53: histograma de recursos do empreendimento L3. ....	102
Figura 54: localização das instalações, elevadores a cremalheiras e caminhão guindaste no empreendimento L3. ....	103
Figura 55: áreas de estoques do empreendimento L3. ....	103
Figura 56: (a) localização do caminhão guindaste na rua lateral à obra e (b) modelo BIM 3D da visão do operador do guindaste evidenciando o muro como barreira visual. ....	104
Figura 57: comparativo das atividades planejadas com as executadas. ....	104
Figura 58: gráfico de não cumprimento dos pacotes. Fonte: empresa L. ....	105
Figura 59: causas dos atrasos na execução das atividades do empreendimento L3. ....	105
Figura 60: alteração nas redes de precedência – planejamento e replanejamento. ....	107
Figura 61: estudo do replanejamento do processo de revestimento externo do empreendimento L3. ....	107
Figura 62: planejado <i>baseline versus</i> opção de replanejamento. ....	108
Figura 63: exemplo de alvenaria do modelo BIM 3D do empreendimento e seu detalhamento com a inserção de novos componentes para o modelo BIM 3D da unidade base. ....	110
Figura 64: duração das atividades do processo de modelagem BIM 4D do empreendimento L3. ....	111

Figura 65: novas atividades realizadas no canteiro e propostas para compor o planejamento. .....	114
Figura 66: modelo BIM 4D da unidade base do empreendimento M1 .....	115
Figura 67: nova planilha de capacidade dos recursos de produção da unidade base do empreendimento M1.....	116
Figura 68: linha de balanço da fase 1 do empreendimento M1.....	117
Figura 69: sequenciamento das atividades do empreendimento M1.....	118
Figura 70: diagrama de sequenciamento das atividades do empreendimento M1 para cada fase da obra. ....	119
Figura 71: planilha de recursos de produção do empreendimento M1.....	119
Figura 72: fase 1 incompleta enquanto a fase 2 apresenta casas já cobertas. Erros no sequenciamento das atividades de terraplanagem e <i>radier</i> . ....	120
Figura 73: frentes de trabalho em diversas áreas do canteiro.....	121
Figura 74: fluxos ininterrupto (processos críticos) e contínuo das atividades das casas tipo C. .....	121
Figura 75: dimensionamento da capacidade de recurso para os processos críticos na Alternativa 1. ....	122
Figura 76: LOB da simulação da Alternativa 1 com duplicação de equipes de <i>radier</i> das casas tipo B1 e B2.....	123
Figura 77: dimensionamento da capacidade de recurso para os processos críticos na Alternativa 2. ....	124
Figura 78: estratégia de ataque das unidades base das casas modelo A, B1, B2 e C no modelo BIM 4D.....	124
Figura 79: dimensionamento da capacidade de recursos para os processos críticos na Alternativa 3. ....	125
Figura 80: comparativo do acréscimo de trabalho em progresso pela alteração do lote de transferência simulado na Alternativa 3. ....	126
Figura 81: quadro de duração das atividades do processo de modelagem 4D do empreendimento M1.....	128
Figura 82: alterações de detalhamento no modelo BIM 4D ao longo do estudo empírico 3. ....	129
Figura 83: diagrama de precedência do empreendimento N1. ....	131
Figura 84: imagem do modelo 4D com diferentes tamanhos de lotes dos blocos.....	131
Figura 85: planilha de capacidade dos recursos de produção da torre do empreendimento N1. .....	132
Figura 86: linhas de balanço de um bloco cujo lote é um pavimento, e dos blocos C, F e I, cujo lote é meio pavimento.....	133
Figura 87: histograma de recursos de equipes para torre com lote de produção igual ao pavimento. ....	134
Figura 88: interferência entre bandejas primárias no empreendimento N1.....	134
Figura 89: impossibilidade do uso da cremalheira para blocos com dois lotes de produção. ....	135
Figura 90: localização do elevador cremalheira no edifício do empreendimento N1.....	135
Figura 91: quantitativo extraído do modelo BIM 3D para atividade de lajes e paredes. ....	136
Figura 92: pré-dimensionamento da capacidade de carregamento dos pavimentos na unidade base pelo caminhão guindaste. ....	137

Figura 93: LOB do cenário pessimista do empreendimento N1. ....	138
Figura 94: LOB do cenário realista para o empreendimento N1.....	139
Figura 95: LOB do cenário otimista do empreendimento N1. ....	139
Figura 96: LOB do cenário misto 1 do empreendimento N1. ....	140
Figura 97: LOB do cenário misto 2 do empreendimento N1. ....	140
Figura 98: durações de cada cenário simulado para o empreendimento N1. ....	141
Figura 99: histogramas dos cenários simulados para o empreendimento N1.....	142
Figura 100: estudo da localização dos equipamentos de transporte vertical – fornecimento de materiais para duas torres simultâneas. ....	143
Figura 101: cenários simulados para o empreendimento N1 e localização dos elevadores cremalheiras.....	144
Figura 102: comparativo de custo de equipamento entre os cenários simulados para o empreendimento N1. ....	145
Figura 103: planilha de recurso de mão de obra para os processos críticos dos cenários simulados para o empreendimento N1. ....	146
Figura 104: quadro de duração das atividades do processo de modelagem 4D do empreendimento N1. ....	147
Figura 105: processo de gestão da produção do estudo empírico 2. ....	150
Figura 106: processo de gestão da produção no estudo empírico 3. ....	152
Figura 107: processo de gestão da produção no estudo empírico 4. ....	154
Figura 108: método final do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção. ....	156
Figura 109: atividades desenvolvidas nos estudos empíricos desta pesquisa. ....	161
Figura 110: gráfico do número de alterações, solicitações por alteração e simulação de cenários.....	163
Figura 111: gráfico dos tempos de modelagem e alteração dos modelos BIM 4D.....	166

## LISTA DE SIGLAS

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção

BSI: *British Standards Institution*

CIFE: *Center for Integrated Facility Engineering* (Centro de Engenharia de Instalações Integradas)

CMI: *Center for the Management of Information* (Centro de Gerenciamento de Informação)

CPM: *Critical Path Method* (Método do Caminho Crítico)

DFD: Diagrama de Fluxo de Dados

EHIS: Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social

EPC: Equipamento de Proteção Coletiva

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

GEC: Grupo de Gerenciamento e Economia da Construção

LBS: *Location Breakdown Structure*

LOB: *Line of Balance* (Linha de Balanço)

LPDS: *Lean Project Delivey System* (sistema de entrega de projetos enxutos)

MAP: Médio e Alto Padrão

MCMV: Minha Casa Minha Vida

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

PCP: Planejamento e Controle da Produção

PPC: Pacote de Planos Concluídos ou Percentagem de Pacotes Concluídos

PSP: Projeto de Sistemas de Produção

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas

SRTE: Superintendência Regional do Trabalho e Emprego

TFV: Transformação Fluxo Valor

TI: Tecnologia da Informação

TICHIS: Tecnologia da Informação e Comunicação para Habitações de Interesse Social

UFBA: Universidade Federal da Bahia

UFC: Universidade Federal do Ceará

UFPR: Universidade Federal do Paraná

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas

USP: Universidade de São Paulo

# 1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta o contexto deste trabalho, o problema de pesquisa, as questões, e objetivos da mesma, bem como a estrutura dos capítulos.

## 1.1 CONTEXTO

Sempre que um novo sistema de produção estiver sendo desenvolvido, as atividades de projeto, operação e melhoria são desempenhadas, geralmente, de uma forma cronologicamente sequencial (SLACK *et al.*, 1997; KOSKELA; BALLARD, 2003). Segundo Koskela e Ballard (2003), o Projeto do Sistema de Produção (PSP) deve existir antes de se realizar a produção, a operação, durante, e a melhoria somente depois do ato produtivo, quando se é capaz de observar como o sistema de produção se comportou de fato.

O Projeto do Sistema de Produção é o planejamento dos sistemas produtivos, que requer conhecimento sobre a estratégia de produção, projetos de produtos ou serviços, tecnologia do sistema de produção e mercado, sendo estes conhecimentos utilizados para desenvolver um plano detalhado para produzir produtos e serviços (GAITHER; FRAZIER, 2001). Durante a elaboração do PSP, diversas decisões interligadas são tomadas, como por exemplo, escolha de equipamentos, leiaute e arranjo físico, a definição do nível de integração vertical, nível da capacidade produtiva, fluxos de trabalho, sincronização entre processos de produção, e projeto dos processos de produção (GAITHER; FRAZIER, 2001; SCHRAMM, 2004).

Essas decisões quando tomadas anteriormente à execução do empreendimento podem contribuir para a mitigação dos efeitos da variabilidade e da incerteza, as quais são inerentes aos sistemas de produção (KOSKELA, 2000; BALLARD *et al.*, 2001a; SCHRAMM, 2004). Assim, busca-se projetar um sistema capaz de gerar valor com o mínimo de desperdício devido ao melhor alinhamento de suas metas, da adequada definição de suas tarefas e de um foco no processo de construção como um todo (BALLARD *et al.*, 2001a). Sua realização pode também facilitar a realização do planejamento e controle da produção (PCP) e a implementação de melhoria contínua (*kaizen*) no empreendimento (SCHRAMM, 2004).

Segundo Laufer e Tucker (1987), o planejamento tem como objetivo responder o que deve ser feito e como deve ser feito, visando a aumentar a eficácia da execução e do controle das obras. Através do planejamento e controle da produção, pode-se melhorar também a produtividade, pois se consegue reduzir atrasos, sequenciar o trabalho da melhor forma possível, organizar o trabalho a ser realizado com a mão de obra disponível, coordenar múltiplas atividades interdependentes, entre outros (BALLARD, 1994).

Entretanto, as atividades de gestão da produção na construção lidam com sistemas produtivos que apresentam certas peculiaridades, em comparação à indústria da manufatura. É uma produção única, que acontece em canteiros de obra, utilizando uma organização temporária (KOSKELA; BALLARD, 2003). O produto sendo transformado (empreendimento) é estacionário, enquanto os recursos transformadores (materiais, informações, equipamentos, e pessoas) movimentam-se (SLACK *et al.*, 2006). Consequentemente, o leiaute do empreendimento também se altera ao longo do tempo (WEBB; HAUPT, 2003).

Este conjunto de características faz com o projeto e o planejamento de sistemas de produção na construção civil sejam atividades de elevada complexidade, uma vez que cada decisão afeta um grande número de outras decisões (PAPAMICHAEL, 1999).

De acordo com Baccarini (1996), os empreendimentos complexos demandam ações, métodos, técnicas e ferramentas apropriados para gerenciá-los com sucesso, pois o uso de ferramentas convencionais de planejamento (por exemplo, a redes CPM-PERT e os diagramas de Gantt) tem se mostrado ineficaz. Neste contexto, Schramm (2004, 2009) e Rodrigues (2006) sugerem que os gerentes podem utilizar diversas ferramentas de visualização para apoiar a tomada de decisão, incluindo planilhas de capacidade de recursos, linhas de balanço, e diagramas de precedência, entre outras.

Contudo, tais ferramentas não permitem a visualização espacial do empreendimento, que pode apontar restrições físicas no canteiro de obra, entre outras informações úteis para apoiar a tomada de decisão. As dimensões espaciais podem ser visualizadas em modelos geométricos 3D do empreendimento que, junto com o planejamento da construção (dimensão temporal), tornam-se modelos 4D (RISCHMOLLER; ALARCON, 2002; RILEY, 2005; KUNZ; FISCHER, 2011).

Os modelos 4D tem sido aplicados para analisar o sequenciamento das atividades antes da construção do empreendimento (COLLIER; FISCHER, 1995; FISCHER; LISTON;

PAPERLESS, 2001; FUKAI, 2005; RILEY, 2005; COBLE; BLATTER; AGAJ, 2005; WEBB; HAUPT, 2005; KHATIB; CHILESHE, 2007), o que tem permitido aos construtores detectar interferências ou inconsistências nos planos, e assim, alterá-los para evitar conflitos de tempo e espaço, melhorar a organização e logística dos canteiros, a segurança, e principalmente, a comunicação e compreensão dos envolvidos na construção.

Outro benefício de se ter um modelo virtual do empreendimento disponível antes do início de sua construção, é a possibilidade de realizar simulações de alternativas de planos, as quais custam uma fração do tempo e do dinheiro daquelas que seriam obtidas com experimentos no mundo real (ALVES; TOMMELEIN, 2007). Posto isto, a tomada de decisão também é facilitada, a partir do momento em que os gestores detêm mais informações (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2005).

Atualmente, BIM (*Building Information Modeling*) tem sido utilizado para gerar modelos virtuais das edificações e também do processo de produção. Existe uma ampla gama de aplicações de BIM na indústria da construção, incluindo análises de construtibilidade, verificação de projetos, e análise do ciclo de vida do produto (LEITE *et al.*, 2011); extração de quantitativos de serviços, estimativa de custos, simulações de conforto ambiental, modelagem dos requisitos dos clientes (BSI; BuildingSMART, 2010); simulação energética, iluminação, dinâmica de fluido computacional e checagem de códigos da edificação (GSA, 2007). No Brasil, seu uso ainda é incipiente, embora alguns escritórios de arquitetura e construtoras já iniciaram o processo de implementação do BIM.

Existem diferentes compreensões acerca da definição de BIM entre os profissionais da indústria da construção (ARANDA-MENA *et al.*, 2009): (a) a aplicação de um *software*; (b) um processo de projeto e documentação das informações; e (c) uma nova abordagem para a gestão do empreendimento, incluindo alterações na formas contratuais e nos relacionamentos entre os profissionais envolvidos.

A ambiguidade do termo é verificada quando BIM se trata apenas de um modelo (*model*) ou um processo de modelagem (*modeling*). Segundo Toledo (2007), BIM (*Building Information Model*) é o modelo digital do edifício que representa suas características geométricas e o inter-relacionamento entre seus componentes e os inúmeros parâmetros e atributos destes, fornecendo informações relevantes para a tomada de decisão pelos diferentes agentes envolvidos no empreendimento, ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. Já BIM

(*Building Information Modeling*) significa o processo e a tecnologia utilizada na criação desse modelo (AIA, 2008). No Brasil, BIM é denominado de Modelagem da Informação da Construção (ABNT, 2011).

Segundo EASTMAN *et al.* (2011), as informações de modelos BIM podem ser utilizadas na geração de modelos 4D. A modelagem 4D com tecnologia BIM, que neste trabalho é denominada de modelagem BIM 4D, utiliza ferramentas de análise que incorporam os componentes BIM e informações sobre a construção para que os planejadores visualizem sequenciamento das atividades (EASTMAN *et al.*, 2011).

Os modelos BIM são compostos por um conjunto de objetos inteligentes, os quais são elementos geométricos que representam zonas, equipamentos e componentes de construção (por exemplo, portas, janelas) e armazenam informações sobre esses que podem ser extraídas em representações automáticas dos mesmos, tais como plantas, elevações, cortes, detalhes, planos, quantitativos, orçamento, manutenção, entre outros (MIHINDU; UNDERWOOD, 2010).

Além disso, os modelos BIM são parametrizados, o que implica que um objeto pode se ajustar automaticamente a uma alteração de projeto (MIHINDU; UNDERWOOD, 2010). Por exemplo, uma parede que, inicialmente, contenha uma janela, com a retirada da mesma, o espaço ocupado se preencherá automaticamente pela parede, refletindo nos demais desenhos e informações extraídas do modelo BIM.

Tal característica permite aos profissionais de projeto e de execução criarem, revisarem e editarem os modelos com mais frequência, o que facilita a implementação de um planejamento melhor e mais confiável (EASTMAN *et al.*, 2011). Portanto, a modelagem BIM 4D permite edições mais rápidas e automatizadas, obtendo-se informações e atualizações mais precisas em todos seus documentos se comparada aos modelos CAD (*Computer-Aided Design*) 4D (GSA, 2007).

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Visando a suprir a falta de visão espacial do processo de construção das ferramentas de planejamento tradicionalmente utilizadas na construção civil, diversos estudos sobre o uso de modelos 4D têm sido realizados. Entretanto, a maioria destes estudos tem sido focados em

decisões de planejamento de forma isolada, em geral limitados a processos construtivos específicos. Por exemplo, o trabalho de Collier e Fischer (1995) utilizou modelos CAD 4D para planejar a logística, comunicar decisões e coordenar o trabalho de subempreiteiros durante a ampliação, reforma e demolição de parte do Centro Municipal de Saúde de San Mateo. Entretanto, a técnica de planejamento utilizada foi o Método do Caminho Crítico (CPM), a mesma empregada por Haymaker e Fischer (2001), na coordenação da execução do Walt Disney Concert Hall, porém, com mais ênfase na fase de pré-obra, quando avaliaram a viabilidade do planejamento e inconsistências do projeto.

Björnfot e Jongeling (2007), por sua vez, aplicaram os modelos CAD 4D durante a construção de blocos de apartamento para apontar problemas reais de execução da obra com o planejamento feito em Linha de Balanço (LOB). O resultado foi a constatação de trabalho em progresso e interferências entre equipes que foram identificadas na LOB anteriormente.

Percebendo a necessidade de melhor representar e embasar as decisões na fase de projeto do sistema de produção, Schramm (2009) utilizou a simulação estocástica de vários cenários de produção e empregou uma animação 4D de sequências de imagens 3D do empreendimento para visualizar e comunicar o plano de ataque aos envolvidos e demais interessados no processo de elaboração do PSP. A utilização de uma animação 4D neste trabalho foi realizada em um estudo pontual, sem que se utilizasse um *software* específico de modelagem BIM 4D.

De qualquer forma, os modelos 4D permitem explorar a visualização de decisões acerca dos processos de construção e considerar abordagens de alternativas de sequenciamento das atividades, leiaute de canteiro, localização de equipamentos de transporte, entre outras, e poder discuti-las com os envolvidos nas operações ao longo do empreendimento (WEBB; HAUPT, 2003; HARTMANN; GAO; FISCHER, 2007; KYMMEL, 2008; SACKS; TRECKMAN; ROZENFELD, 2009).

Contudo, com poucas notáveis exceções, a maior parte das pesquisas acadêmicas e industriais em projeto assistido por computador (CAD) e visualização da construção lida com o design da edificação e o planejamento da obra na fase de pré-construção (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010). Tem havido menos esforços para desenvolver ferramentas baseadas em BIM para apoiar a gestão da produção no canteiro (SACKS; RADOSAVLJEVIC; BARAK, 2010).

Além disso, pouco tem sido escrito sobre a implementação de modelos BIM 4D no contexto de empresas de construção, para projetar e planejar sistemas de produção em conjunto com outras técnicas de planejamento, apropriadas à construção civil.

Somando-se a isso, os modelos BIM ainda necessitam de infraestrutura, metodologias e tecnologias que permitam ao usuário criar, compartilhar, visualizar e aplicar seu conhecimento nos diversos requisitos dos clientes (LEE *et al.*, 2002). No caso dos modelos BIM 4D, para o cliente construtor e planejador, carece de métodos para uso desta ferramenta.

Isso facilita aos profissionais da construção realizarem análises em diferentes estágios de um empreendimento, por meio da manipulação e avaliação dos impactos de alterações dos parâmetros do projeto, fundamentando a tomada de decisão com novas informações (LEE *et al.*, 2002). Isto posto, os gestores de empreendimentos podem ter, através de modelos 4D e outras ferramentas de planejamento, meios adequados para tomada de decisão antes e durante a execução de uma obra.

Webb e Haupt (2003) também afirmam que são necessárias pesquisas sobre a modelagem 4D para ligar atributos diretamente com ferramentas apropriadas de planejamento, e desenvolver bibliotecas desses atributos para tipos específicos de equipes, materiais e métodos de trabalho alternativos.

Portanto, a fim de melhorar o projeto e o planejamento de sistemas de produção e o planejamento e controle das obras, o presente trabalho está focado na implementação de modelos BIM 4D para apoiar a tomada de decisão por parte dos envolvidos na gestão de empreendimentos. Esta pesquisa faz parte da rede de pesquisa TICHIS (Tecnologia da Informação e Comunicação em Habitações de Interesse Social), mais especificamente, do subprojeto “TIC na Gestão da Produção”, o qual busca desenvolver métodos de implementação de tecnologias para gestão de sistemas de produção. Esta rede de pesquisa envolve um conjunto de universidades (UFRGS, UFC, UFPR, UFBA, USP, UNICAMP e Universidade Presbiteriana Mackenzie), sendo a mesma financiada pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos). O escopo desta rede é o desenvolvimento de tecnologias da informação e comunicação (TIC) em empreendimentos de habitação de interesse social, com destaque para o programa Minha Casa Minha Vida (MCMV).

### 1.3 QUESTÕES DE PESQUISA

Há um vasto campo para exploração da modelagem BIM 4D como ferramenta de apoio à gestão da produção. Assim sendo, foi definida a seguinte questão principal da pesquisa:

- a) como desenvolver e utilizar os modelos BIM 4D para apoiar o projeto e o planejamento de sistemas de produção na construção civil?

Como desdobramentos da questão principal foi definida a seguinte questão secundária:

- b) quais os benefícios e dificuldades de se utilizar a modelagem BIM 4D nestes processos?

### 1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral desta pesquisa é:

- a) construir um método para o uso da modelagem BIM 4D no projeto e planejamento de sistemas de produção de empreendimentos da construção civil;

Posto isto, surgem como objetivo específico:

- b) identificar cenários de utilização de modelos BIM 4D para apoiar a tomada de decisão nos referidos processos.

### 1.5 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta dissertação teve duas delimitações no desenvolvimento dos estudos. Uma se refere ao fato de que as empresas construtoras participantes dos estudos não modelaram seus projetos em BIM, portanto, coube a pesquisadora a tarefa de modelar os empreendimentos em BIM 3D e 4D para atingir o objetivo desta pesquisa. A falta de modelos BIM 3D fornecidos pelas construtoras fez com que a pesquisadora modelasse apenas os elementos que julgou necessário aos estudos com o modelo BIM 4D, sem necessitar trabalhar os modelos de terceiros.

A segunda delimitação foi em relação ao *software* utilizado pela pesquisadora, o Autodesk Navisworks Manage. O mesmo não contempla diversas funções e ferramentas presentes em

outros *software* de mesma função, como geração de gráficos de uso de mão de obra, produtividade, custos, telas comparativas de cenários, entre outros. Entretanto, o *software* utilizado atingiu o objetivo pretendido na modelagem BIM 4D, sendo que outras ferramentas foram também utilizadas para se oferecer mais informações para a tomada de decisão.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto por seis capítulos. O capítulo (cap. 1) apresenta o tema da pesquisa, justificativa, problema de pesquisa, questões, proposições, objetivos, e as delimitações do estudo.

O segundo e terceiro capítulos são referentes à revisão bibliográfica. No capítulo 2, o Sistema de Produção é apresentado, dando início aos conceitos de gestão da produção tradicional e enxuta, projeto sistema de produção, planejamento e controle da produção, e o Sistema *Last Planner* de planejamento e controle da produção.

Já no terceiro capítulo, conceitos sobre a modelagem BIM 4D estão explicitadas, iniciando pelos conceitos de 4D, uma breve história da modelagem 4D, diferenças de tecnologia CAD e BIM na elaboração e uso dos modelos 4D, e como implementar a modelagem 4D em empresas construtoras.

O capítulo 4 apresenta o Método de Pesquisa utilizado pela pesquisadora, os métodos de coleta e análise de dados, e o delineamento da pesquisa, que mostrou as fases pelas quais o trabalho foi constituído: fase de revisão bibliográfica, exploratória, de desenvolvimento, e, de consolidação.

No capítulo 5, está o desenvolvimento da pesquisa, estruturado na descrição em maior grau de profundidade dos estudos empíricos, bem como seus resultados e análises, além da explanação do método proposto. O capítulo 6 é de conclusão e proposição de trabalhos futuros.

## 2 GESTÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Este capítulo inicia-se pela apresentação do conceito de Sistema de Produção e do escopo da Gestão da Produção. Em seguida, expõe-se conteúdos sobre o Projeto do Sistema de Produção e Planejamento e Controle da Produção, pelo fato de serem os dois processos gerenciais abordados nesta pesquisa.

### 2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO

Antes de explorar o tema de sistema de produção, faz-se necessário compreender o conceito de sistema. Segundo Russel Ackoff (*apud* GAITHER; FRAZIER, 2001), um sistema é um todo que não pode ser separado sem que ocorram perdas em suas características essenciais.

O sistema de produção é uma reunião intencional de pessoas, objetos e procedimentos para operar em um ambiente no qual ocorrem as transformações de insumos em produtos (MEREDITH; SHAFER, 2002). De acordo com os mesmos autores, definir os limites de um sistema é importante, porque, se for definido de maneira muito restrita, pode-se omitir relações importantes entre os componentes do mesmo. Por outro lado, estender seu limite aumenta a complexidade e os custos associados com sua elaboração e utilização (MEREDITH; SHAFER, 2002).

No caso do sistema de produção, há diversas partes compondo seu todo, como os insumos (matérias-primas, pessoal, máquinas, prédios, tecnologia, dinheiro, informação, etc.) que são transformados por um subsistema de transformação em produtos e serviços (GAITHER; FRAZIER, 2001). Askin e Goldberg (2002) e Milberg (2007), acrescentam que além do sistema de produção ser um conjunto de recursos e procedimentos envolvidos na conversão de matéria prima em produtos, esses devem entregar valor aos clientes.

Os objetivos dos sistemas de produção são: entregar produtos com funções desejadas, estética e qualidade aos clientes no tempo certo e ao custo certo (ASKIN; GOLDBERG, 2002). Meredith e Shafer (2002) corroboram nessa afirmação e ainda acrescentam que são as organizações as responsáveis pela geração de valor, e o setor da produção tem um papel fundamental neste esforço.

Para Meredith e Shafer (2002), o sistema de produção é definido em termos de ambiente, insumos, sistema de transformação, produtos e o mecanismo utilizado para monitorar e controlar (Figura 1). No ambiente estão inclusos os aspectos externos do sistema de produção, que não podem ser controlados, mas que o influenciam de alguma maneira.

Devido ao ambiente ser de natureza dinâmica, faz-se necessário seu monitoramento e controle, e se o sistema não estiver atingindo seu objetivo, ele deverá sofrer ações corretivas (MEREDITH; SHAFER, 2002). Uma parcela do produto também é monitorada no subsistema de controle para determinar se ele é aceitável em termos de qualidade, quantidade e custo (GAITHER; FRAZIER, 2001).

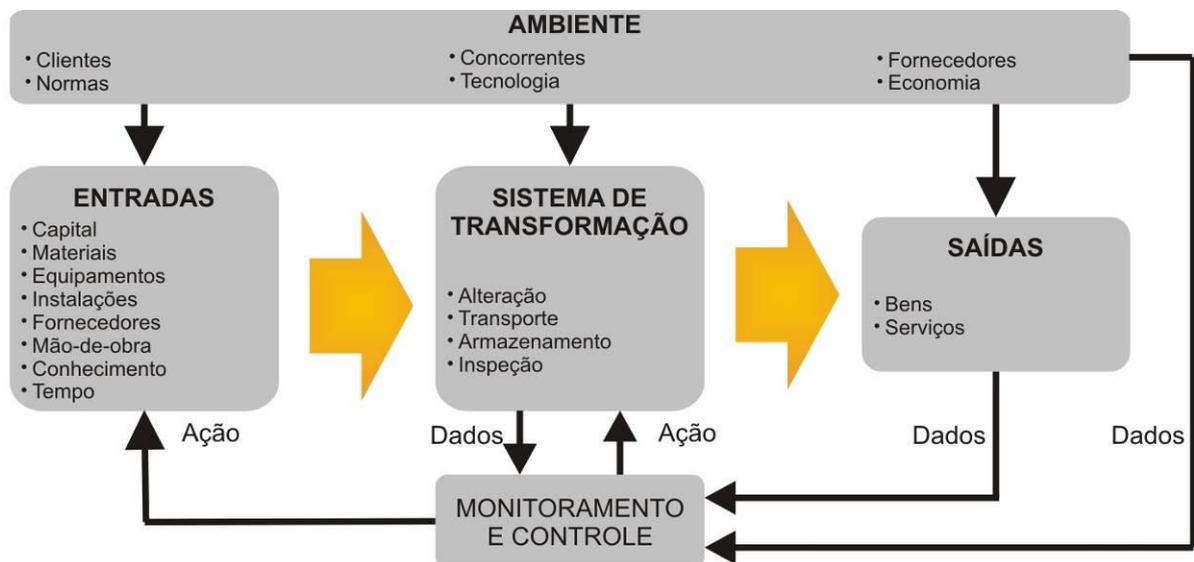


Figura 1: representação do sistema de produção (baseado em Meredith e Shafer, 2002).

## 2.2 GESTÃO DA PRODUÇÃO

A gestão da produção é a atividade de gerenciar os recursos que são destinados à produção e à entrega de produtos e serviços, e pode trazer diversos benefícios a qualquer organização se bem empregado, como por exemplo, reduzir custos, aumentar a lucratividade, reduzir a necessidade de investimentos e aumentar a inovação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007).

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2007), as atividades da função produção podem ser separadas em gestão e a estratégia de produção, como mostra a Figura 2. Pode-se verificar que a função produção consiste em: (a) compreender os objetivos da estratégia de produção;

(b) desenvolver uma estratégia de produção para a organização; (c) projetar a operação dos processos, serviços e produtos; (d) planejar e controlar a produção; (e) melhorar o desempenho da produção; e (f) definir as responsabilidades gerais do gerenciamento da produção.

De forma similar a Slack, Chambers e Johnston (2007), Koskela e Ballard (2003) afirmam que existem três ações genéricas na gestão da produção: (a) Projeto (e realização) do Sistema de Produção; (b) Operação do sistema de produção (operação pode ser dividida em planejamento, controle e correções); e (c) melhoria do sistema de produção, conforme é apresentado pela Figura 2. Essas três ações podem ser distinguidas com base em suas relações temporais com os atos produtivos. O projeto do sistema de produção deve existir antes do ato produtivo, a operação durante, e a melhoria pode ser realizada somente depois do ato produtivo, quando se é capaz de observar como o sistema de produção se comporta de fato (KOSKELA; BALLARD, 2003).

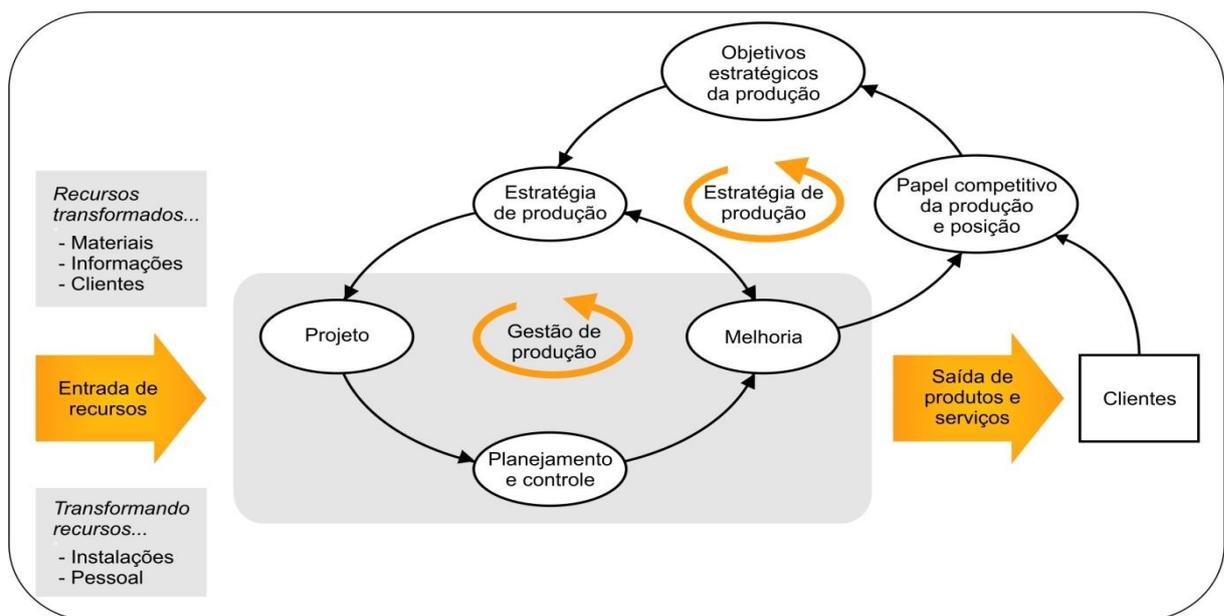


Figura 2: modelo geral de gerenciamento e estratégia de produção (baseado em Slack, Chambers, Johnston, 2007).

### 2.3 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Projetar é conceber a aparência, o arranjo e o funcionamento de algo antes que ele seja construído (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2007). Projetar o sistema de produção é planejar os processos, os produtos ou serviços, a tecnologia empregada e o mercado, para que

se possa desenvolver um plano detalhado com a finalidade de produzir produtos e serviços (GAITHER; FRAZIER, 2001).

O PSP cumpre um objetivo no início de qualquer esforço produtivo, de discutir e traduzir a estratégia de produção desejada em um conjunto de decisões sobre o sistema de produção, formando assim, uma estrutura que irá gerenciar as diferentes atividades (SCHRAMM, 2004). Portanto, o PSP se estende desde a organização global da empresa até o projeto das operações, definindo quem deve estar envolvido nos papéis para decisões a respeito de como o trabalho físico será realizado (BALLARD *et al.*, 2001b).

Askin e Goldberg (2002) afirmam que o projeto do sistema de produção aponta como os recursos físicos (humanos e inanimados) e informações devam ser utilizados para produzir produtos. Já para Gaither e Frazier (2001), os elementos do projeto do sistema de produção são inúmeros, existindo informações de entradas necessárias para o projeto de fato, e informações de saídas, como mostra a Figura 3.

Entradas	Projeto do Sistema de Produção	Saídas
<b>Informações sobre Produtos</b>	<b>Escolha do tipo de processo</b>	<b>Processos tecnológicos</b>
Demanda	Coordenado com estratégias	Projeto de processos específicos
Preços / Volumes	<b>Estudos da integração vertical</b>	Ligações entre processos
Padrões	Capacidade do fornecedor	<b>Facilidades</b>
Ambiente Competitivo	Decisões de aquisição	Projeto de construções
Desejos / Necessidades do Consumidor	Decisões de fazer ou comprar	Layout das instalações
Características do Produto	<b>Estudo do processo / produto</b>	Escolha de equipamentos
<b>Informações sobre o Sistema de Produção</b>	Passos tecnológicos principais	<b>Estimativa de pessoal</b>
Disponibilidade de Recursos	Passos tecnológicos secundários	Requisitos do nível de habilidades
Aspectos Econômicos da Produção	Simplificação do produto	Número de empregados
Tecnologias Conhecidas	Padronização do produto	Treinamento
Tecnologia que pode ser adquirida	Projeto do Produto para produtividade	Requisitos de supervisão
Potencialidades Predominantes	<b>Estudos do equipamento</b>	
Fragilidade	Nível de automação	
<b>Estratégia de Operações</b>	Ligações entre máquinas	
Estratégia de posicionamento	Escolha do equipamento	
Armas competitivas necessárias	Fermentaria	
Foco das fábricas	<b>Estudos dos procedimentos de produção</b>	
Alocação de recursos	Seqüência de produção	
	Especificações de materiais	
	Necessidades de pessoal	
	<b>Estudos das instalações</b>	
	Projeto de construção	
	Leiaute das instalações	

Figura 3: elementos do projeto do sistema de produção (baseado em Gaither e Frazier, 2001).

Gaither e Frazier (2002) e Slack, Chambers e Johnston (2007) afirmam que o projeto de processo e de produtos ou serviços devem ser considerados juntos, pois ambos estão inter-relacionados. Segundo os mesmos autores, pequenas alterações no projeto de produtos e serviços podem ter implicações na maneira como a operação (produção) irá produzi-los. Além

disso, Koskela (1992) afirma que os custos provenientes de falhas no projeto podem superar o custo do próprio projeto.

Durante a elaboração do sistema de produção, deve-se considerar alternativas de organização da produção visando escolher a estratégia mais adequada para se alcançar os resultados desejados (MEREDITH; SHAFER, 2002). As decisões tomadas nesta etapa são interdependentes, e se uma delas for alterada, as demais serão atingidas (MEREDITH; SHAFER, 2002).

### 2.3.1 Escopo de Decisões do Projeto do Sistema de Produção

Em relação ao escopo de decisões do projeto do sistema de produção, alguns autores (ASKIN; GOLDBERG, 2001; GAITHER; FRAZIER, 2001; SLACK *et al.* 2006) apontam algumas decisões semelhantes, tais como a definição da capacidade do sistema de produção, o grau de integração vertical, o arranjo físico ou leiaute de instalações, fluxo e sincronia dos processos e projeto dos processos. A seguir, descreve-se em mais detalhe cada uma das decisões contempladas pelo PSP:

- a) capacidade do sistema de produção: de acordo com Slack *et al.* (2006) projetar a capacidade do sistema é determinar os recursos necessários para atender à sua demanda. Devem ser consideradas as limitações de tempo e disponibilidade máxima dos recursos (ALVAREZ; ANTUNES JR, 2001). Segundo os mesmos autores, em sistemas de produção que adotam os conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP), a capacidade de recursos necessária a um processo deve estar em concordância com seu *takt-time*<sup>1</sup>;
- b) integração vertical: é a quantidade de processos ou produtos que estão sob o domínio da empresa, ou seja, que são produzidos pela mesma (GAITHER; FRAZIER, 2001);
- c) projeto dos processos: processos específicos a serem utilizados na produção são delineados e descritos (GAITHER; FRAZIER, 2001). A definição dos processos a serem priorizados para terem seu projeto detalhado deve ser realizada considerando o impacto destes no sistema de produção, a partir de uma visão sistêmica (SCHRAMM, 2004);

---

<sup>1</sup> *Takt-time* está relacionado ao ritmo de produção necessário para atender à demanda por parte do cliente (LIB, 2003).

- d) arranjo físico ou leiaute de instalações: representa a maneira como os recursos de produção estão organizados (SLACK *et al.*, 2006). O leiaute do sistema deve prever como o espaço físico será ocupado ao longo do tempo, definindo trajetórias de pessoas e materiais por entre as instalações da produção (GAITHER; FRAZIER, 2001; SLACK *et al.*, 2006). O leiaute de um processo é determinado parcialmente por suas características de volume e variedade. Existem quatro tipos básicos de leiaute: de posição fixa, funcional, em célula e por produto (SLACK *et al.*, 2006). Devido ao volume e variedade do produto da construção civil, este se classifica em leiaute de posição fixa. Segundo Slack *et al.*, (2006) neste leiaute os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores; ao contrário, são os materiais, informações e clientes que fluem pela operação, junto com os equipamentos, maquinários e pessoas que fazem o processamento, e o beneficiário do mesmo está estacionário;
- e) fluxo: nos empreendimentos, o fluxo está ligado ao estabelecimento da trajetória e do ritmo de produção a ser seguido pelas equipes de trabalho, de modo que a alocação dos recursos e a capacidade destinada a cada processo são determinantes na continuidade dos fluxos de trabalho, e conseqüentemente, na sincronia dos processos (HOPP; SPEARMAN, 1996).

Segundo Koskela (2000), existem algumas peculiaridades características da construção civil, como: (a) a existência de três tipos de fluxo (material, local e montagem) em ação no canteiro de obra, em contraste com apenas dois tipos em uma fábrica (material e montagem); (b) alto grau de variabilidade associados a esses fluxos; (c) a construção é um tipo de montagem vulnerável à variabilidade do fluxo de entrada; (d) a construção é uma produção de protótipos por natureza, realizados para encontrar erros de projeto ou de planejamento; (e) ao contrário de uma fábrica, um recurso pode estar sendo utilizado simultaneamente em várias estações de trabalho, o que provoca condições de trabalho subótimas: esse é um tipo de desperdício característico da construção.

### 2.3.2 Projeto do Sistema de Produção na Construção Civil

Nos itens a seguir, diversas contribuições sobre como realizar o projeto do sistema de produção são apresentadas, cada uma com foco diferente, ocorrendo em etapas de obra diferentes. Pode-se observar que diferentes designações têm sido dadas a este processo gerencial.

### 2.3.2.1 Estruturação do Trabalho (*Work Structuring*)

Estruturação do Trabalho é um termo na construção que foi utilizado por Ballard (1999) e Tsao *et al.* (2000) para designar o projeto do sistema de produção.

Os objetivos da estruturação do trabalho é projetar processos mais rápidos e de fluxo contínuo e, quando possível, aumentar a pré-fabricação fora do canteiro e entregar valor ao cliente (BALLARD, 1999). Além disso, a estruturação do trabalho determina (BALLARD, 1999):

- a) que atividades serão atribuídas às equipes;
- b) qual será a sequência dessas atividades;
- c) como os lotes de trabalho serão liberados de uma equipe à outra;
- d) como as equipes consecutivas executarão o trabalho em um processo de fluxo ininterrupto ou se será dissociado (TSAO *et al.*, 2000);
- e) onde os *buffers*<sup>2</sup> serão necessários e como eles serão dimensionados (HOWELL *et al.*, 1993).

A estruturação do trabalho foi proposta como parte de um sistema de gestão de empreendimentos, denominado de *Lean Project Delivery System* (LPDS) (BALLARD, 2000b, 2008b; TSAO, 2005). Seu escopo está relacionado ao projeto de operações e de processos, de forma alinhada ao projeto do produto, determinando a estrutura da cadeia de suprimentos, a alocação de recursos, os esforços de projeto para pré-fabricação, e em quais atividades (subsistemas, submontagem, e componentes) o produto será decomposto (BALLARD, 2000 *apud* TSAO; TOMMELEIN, 2004).

### 2.3.2.2 Programação por Fases (*Phase Scheduling*)

Outro processo gerencial relacionado ao PSP é a Programação por Fases (*Phase Scheduling*), também chamada por *Reverse Phase Scheduling*, ou *Task Planning*, no qual, se define em reuniões participativas as possíveis sequências das atividades, o tamanho dos lotes, e se incentiva as pessoas envolvidas a desenvolverem novos métodos para a execução de suas atividades (BALLARD, 2000a).

---

<sup>2</sup> Neste trabalho, *buffers* tem a mesma significação que *safety stock*, o qual protege o produtor de incapacidades de seus processos à montante e de seus fornecedores, podendo estar em qualquer ponto da produção (LIB; 2003). Entretanto, como frisou Bulhões (2009), os trabalhos acadêmicos utilizam o termo genericamente para designar folgas, que podem ser de materiais, tempo e capacidade.

A programação por fases acontece entre o planejamento de longo e médio prazos, e visa maximizar a geração de valor, obter a compreensão e comprometimento de todos os envolvidos, e especificar as interações entre os grupos de trabalho (BALLARD, 2008a). Estas definições são baseadas em metas e datas marcos (*milestones*) estabelecidas no plano de longo prazo, sendo desenvolvidas sequências reversas de atividades a partir de uma data-alvo de conclusão, buscando definir um conjunto de tarefas necessárias para atingir as metas (BALLARD; HOWELL, 2003).

Em comparação ao PSP, enquanto esse tem um escopo de decisões mais amplo, a programação por fases é um tipo de projeto do sistema produtivo que detalha as principais fases do empreendimento, e se foca nas entregas entre as atividades (*handoffs*), as quais impactam diretamente na capacidade das unidades de produção (equipe) em executar as unidades de trabalho (lotes de produção) conforme o planejado (TSAO, 2005).

### 2.3.2.3 Modelo do Projeto do Sistema de Produção para EHIS

Schramm (2004) propôs um modelo (Figura 4) de PSP para Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (EHIS), que possuem características repetitivas, como forma de mitigar a variabilidade inerente aos sistemas produtivos, além de criar condições para seu controle e melhoria.

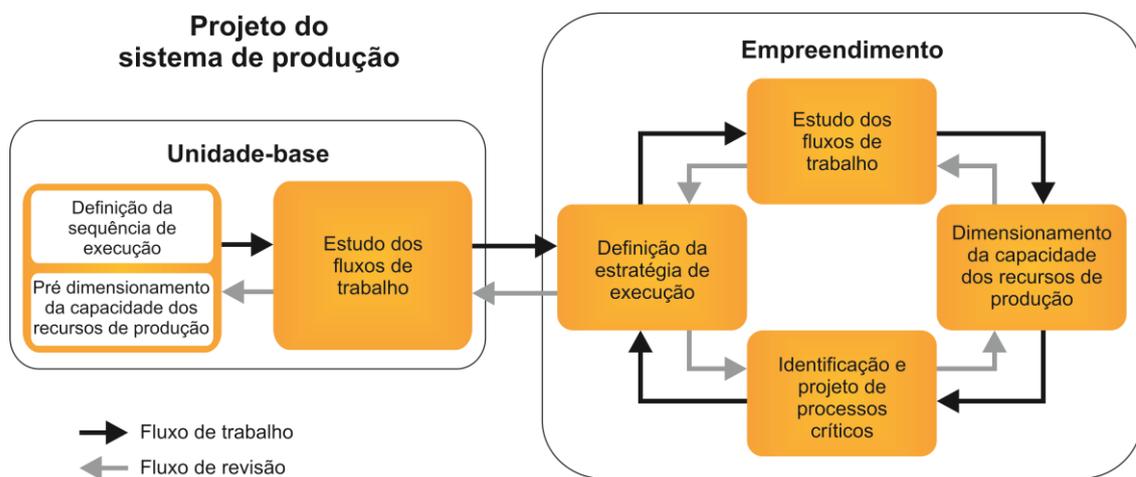


Figura 4: modelo de elaboração do PSP para EHIS (baseado em Schramm, 2004).

O modelo é composto por seis fases que definem as principais decisões do PSP. Algumas fases adotam como unidade de análise a unidade base<sup>3</sup>, enquanto outras, o empreendimento como um todo. As alterações nas decisões estabelecidas em qualquer uma dessas etapas irão repercutir nas demais etapas de decisões do modelo, fazendo com que, após tomada a decisão, seja realizada a revisão no sentido contrário das etapas (SCHRAMM, 2004).

As etapas de decisões propostas por Schramm (2004) são:

- a) definição da sequência de execução e pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção: define-se a sequência de execução da unidade base de produção, e, se pré-dimensiona os recursos de produção que serão utilizados na unidade base, como o tempo de ciclo da atividade, a equipe responsável e os equipamentos necessários. Define-se também, o nível de integração vertical e as principais tecnologias construtivas a serem adotados (SCHRAMM, 2009). Como ferramentas, pode-se utilizar o diagrama de precedência e uma planilha de pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção;
- b) estudo dos fluxos de trabalho da unidade-base: a partir das informações provenientes da etapa anterior, elabora-se o estudo dos fluxos de trabalho na unidade base do empreendimento. Entende-se aqui como fluxo de trabalho, o fluxo efetuado pelas equipes para realizarem um conjunto de operações que define uma atividade macro do planejamento. Sua análise é feita por meio da técnica da Linha de Balanço que fornece de forma gráfica e de fácil compreensão, as trajetórias, os ritmos de produção e informações da duração de cada atividade (FORMOSO; SCHRAMM, 2008);
- c) definição da estratégia de execução do empreendimento: elabora-se a estratégia de execução do empreendimento para definir o fluxo de trabalho que será desenvolvido entre as zonas de trabalho do empreendimento, baseada em informações de prazo, custo, capacidade de fornecimento de suprimentos e limites de produção dos processos críticos;
- d) estudo dos fluxos de trabalho do empreendimento: após definidos o fluxo de trabalho na unidade base e a estratégia de ataque do empreendimento, essas

---

<sup>3</sup> A unidade-base de produção é uma unidade repetitiva que pode ser representada por um pavimento, um apartamento, uma casa ou um sobrado (SCHRAMM; COSTA; FORMOSO, 2006).

informações serão utilizadas no estudo do fluxo de trabalho de todo o empreendimento. Novamente, a técnica da linha de balanço cumpre um papel importante em explicitar o fluxo ininterrupto das equipes de trabalho no empreendimento todo. Pode ser utilizado também o Diagrama de Sincronia;

- e) dimensionamento da capacidade de recursos de produção: é determinada a capacidade dos recursos de produção, como mão de obra e equipamentos, necessários na execução de cada processo. É possível conhecer o volume de recursos globais necessários à execução do empreendimento. Como ferramentas para realização do estudo nessa etapa, pode-se utilizar o Diagrama de Sequenciamento e o Histograma de Recursos;
- f) identificação e projeto dos processos críticos: existem dois tipos de processos críticos: (a) gargalo, os quais são processos cuja capacidade limita a capacidade de produção de todo o sistema; e (b) processo com restrição de capacidade, pois se não bem gerenciados podem se tornar processos gargalos.

As ferramentas tipicamente utilizadas nessa etapa de decisão do PSP são: Estudo de Leiute e de Capacidade do Processo, Planilha de Definição da Sequência de Execução do Processo, Planilha de Avaliação da Capacidade *versus* Demanda.

No modelo desenvolvido por Schramm (2004), algumas decisões são tomadas de forma estratégica, muitas vezes, pela direção da empresa construtora. As decisões sobre integração vertical e escolha de tecnologia construtiva não são discutidas diretamente no modelo, apesar do autor afirmar que elas ocorrem na etapa de definição da sequência de execução e da capacidade dos recursos. Além disso, decisões sobre equipamentos de transporte vertical, equipamentos de proteção coletiva, entre outros, são decisões também tomadas no nível estratégico da empresa, assim como a própria definição da estratégia de execução do empreendimento, que frequentemente, é definida pelo setor de vendas e financeiro das empresas, impossibilitando, muitas vezes, sua alteração por parte dos engenheiros das obras. Portanto, o modelo não faz uma clara separação das decisões estratégicas em relação àquelas de caráter mais operacional, que são frequentemente tomadas no planejamento de longo prazo.

#### 2.3.2.4 Projeto do Sistema de Produção para Obras Complexas

No trabalho de Rodrigues (2006) foi proposto um modelo de PSP baseado no modelo de Schramm (2004), porém, considerando as características de empreendimentos complexos, como o alto grau de incerteza, grande número de partes envolvidas e a elevada interdependência entre os processos. A referida autora constatou que devido à complexidade desses empreendimentos era mais difícil realizar um PSP com alto detalhamento das decisões antes do início da execução das obras. Assim, ela previu o detalhamento evolutivo das atividades ao longo das etapas do empreendimento conforme a disponibilidade de informações. Rodrigues (2006) também propôs como entrada ao PSP as decisões estratégicas da produção e as informações de requisitos do cliente.

#### 2.3.2.5 Projeto de Sistemas de Produção utilizando Simulação Computacional

Schramm (2009) inseriu a simulação computacional como uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão. O modelo proposto teve ênfase maior em decisões de caráter operacional, e dividiu o PSP em duas fases não estanques: (a) fase estática, baseada no modelo de Schramm (2004); e (b) fase dinâmica, na qual foram desenvolvidos os modelos de simulação e testados os cenários para apoiar a tomada de decisão.

Neste estudo, o pesquisador procurou verificar o papel do PSP na gestão de empreendimentos, e o mesmo obteve quatro funções básicas: (a) promover discussões e questionamentos; (b) incentivar a adoção de uma visão sistêmica; (c) sistematizar, formalizar e registrar decisões; e (d) estabelecer um estado futuro a ser alcançado.

### 2.4 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Na gestão da produção, após a ação de projetar o sistema produtivo, é necessário operá-lo. O planejamento e controle (PCP) está fortemente vinculado à ação de operação da produção (KOSKELA; BALLARD, 2003). É um processo gerencial que sucede o PSP, mas que pode utilizar ferramentas similares, por exemplo na avaliação de alternativas de planos para recuperação do prazo da obra (SCHRAMM, 2009). Similarmente, outro papel designado ao PCP, segundo Tommelein (1998), é o de ajustar o plano para que a execução do trabalho continue eficiente conforme os efeitos da incerteza ocorram.

Segundo Laufer e Tucker (1987), o planejamento é um processo de tomada de decisão realizado para antecipar uma ação futura, utilizando meios eficazes para obtê-la. De acordo com Formoso (1991), o planejamento é um processo gerencial de tomada de decisão, que envolve o estabelecimento de metas e a determinação de meios para atingi-los, sendo efetivo quando acompanhado do controle.

O processo de PCP pode ser dividido em duas dimensões: horizontal e vertical (LAUFER; TUCKER, 1987). Na dimensão horizontal são definidas etapas pelas quais o processo de planejamento e controle é realizado; na dimensão vertical, essas etapas são vinculadas a diferentes níveis gerenciais (LAUFER; TUCKER, 1987).

#### 2.4.1 Dimensão horizontal

As etapas do ciclo de controle do empreendimento, de acordo com Laufer e Tucker (1987), são: preparação do processo de planejamento, coleta de informações, preparação dos planos, difusão de informações e avaliação do processo de planejamento (Figura 5).



Figura 5: ciclo de planejamento (baseado em Laufer e Tucker, 1987).

As cinco fases do ciclo de planejamento são descritas nos itens a seguir, conforme Formoso *et al.* (2001):

- a) preparação do processo de planejamento: definição dos procedimentos e padrões adotados pela empresa na execução do planejamento; dos níveis hierárquicos, suas periodicidades e níveis de detalhe; das pessoas envolvidas no PCP e suas responsabilidades; das técnicas e ferramentas de planejamento (redes de precedência, CPM, PERT, diagrama de Gantt e a Linha de Balanço);
- b) coleta de informações: definição do formato e periodicidade em que são geradas as informações sobre a produção pelos diversos setores da empresa e

por outros envolvidos nos processos, como clientes, projetistas, subempreiteiros;

- c) elaboração dos planos: etapa em que acontece a concepção do plano da obra mediante a técnica escolhida pela empresa construtora. Diversas técnicas podem ser utilizadas nesta etapa;
- d) difusão das informações: as informações a respeito dos planos devem ser difundidas entre os usuários, com informações específicas e sob formato único. Deve-se definir o conteúdo adequado de informação aos diferentes usuários, a periodicidade da difusão, seu formato e ciclo de retroalimentação;
- e) avaliação do processo de planejamento: avaliação do processo de planejamento para que a empresa possa melhorá-lo em obras futuras ou no mesmo empreendimento. Para isso, deve-se utilizar indicadores de desempenho da produção e do processo de planejamento e definir a periodicidade dos ciclos de avaliação para detectar falhas e poder corrigi-las.

#### 2.4.2 Dimensão vertical

A dimensão vertical conecta os horizontes de planejamento de acordo com os níveis gerenciais das empresas e seus diferentes objetivos (LAUFER; TUCKER, 1987). De acordo com os mesmos autores, existem três grandes níveis hierárquicos no PCP: (a) estratégico; (b) tático; e (c) operacional e controle. No nível estratégico são definidos os objetivos estratégicos do empreendimento, definindo o escopo e as metas do empreendimento com a definição dos prazos para alcançar os objetivos estabelecidos (BERNARDES, 2001).

No nível tático os meios e suas limitações para que as metas sejam alcançadas são definidas (BERNARDES, 2001). O planejamento tático refere-se à identificação de recursos, estruturação do trabalho, do recrutamento e treinamento de pessoal, além de vincular as metas fixadas no plano estratégico com aquelas designadas no plano operacional (BERNARDES, 2001).

O nível operacional refere-se à seleção do curso das ações através das quais as metas serão alcançadas (LAUFER; TUCKER, 1987). Relaciona-se o planejamento operacional com as decisões a serem tomadas no curto prazo referentes às operações de produção da empresa (BERNARDES, 2001).

A dimensão vertical do planejamento, como mencionado, ocorre em três níveis gerenciais: estratégico sendo contemplado pelo planejamento de longo prazo; o tático, visto no planejamento de médio prazo; e o operacional, acontecendo no planejamento de curto prazo.

#### Plano de Longo Prazo

O plano de longo prazo também é conhecido como plano mestre, e é realizado no início da fase de construção do empreendimento (LAUFER; TUCKER, 1987). O planejamento de longo prazo identifica os objetivos principais do empreendimento através do estabelecimento de metas gerais em qualidade, custo e tempo, refletindo as diretrizes da estratégia adotada pela empresa (LAUFER, 1997).

Ele deve ser executado com baixo grau de detalhes devido à incerteza existente no ambiente produtivo (MOREIRA; BERNARDES; FORMOSO, 2003), e fornece um padrão de comparação a partir do qual o desempenho do empreendimento pode ser monitorado (LAUFER, 1997; TOMMELEIN; BALLARD, 1997). Este plano orienta os demais níveis de planejamento (BALLARD, 1997) e deve ser retroalimentado pelos mesmos (FORMOSO *et al.*, 1999).

#### Plano de Médio Prazo

Segundo Laufer e Tucker (1987), no planejamento de médio prazo é feita a seleção dos meios, ou recursos, necessários para obtenção dos resultados planejados no plano de longo prazo. No plano de médio prazo estão definidas as datas de início e término das principais etapas do empreendimento; a sequência de execução; e aspectos relacionados ao fornecimento de materiais e mão de obra para realização dos serviços (ASSUMPÇÃO, 1996).

#### Plano de Curto Prazo

No planejamento de curto prazo, as decisões são tomadas em um curto espaço de tempo para viabilizar a execução das tarefas (LAUFER; TUCKER, 1987). No plano de curto prazo, as atividades programadas no médio prazo são fracionadas em pacotes menores, denominados tarefas (FORMOSO, 2001).

### 2.4.3 O Sistema *Last Planner* (SLP) de controle da produção

O Sistema *Last Planner*<sup>TM</sup> de controle da produção (BALLARD, 1994, 1997, 2000; BALLARD; HOWELL, 1998) vem sendo adotado por diversas empresas construtoras no

mundo para estabilizar suas produções. Além disso, apresenta um grande diferencial em relação às tradicionais práticas de gestão da produção por se basear em conceitos e princípios da construção enxuta (KOSKELA, 1992). O SLP se difere nos níveis tático e operacional por proteger a produção contra incertezas e variabilidade inerentes aos sistemas produtivos, e promover o comprometimento de operários que executam as tarefas.

No nível tático, seu planejamento é chamado de *lookahead planning*, uma vez que seu horizonte abrange algumas semanas a frente, geralmente entre 3 a 12 semanas, visando a identificar e remover restrições das atividades, aumentando a probabilidade de que as mesmas possam ser executadas em suas datas planejadas (BALLARD, 1997). São consideradas restrições os recursos necessários à realização de uma atividade, como por exemplo, materiais, projetos, mão de obra, equipamentos (FORMOSO, 2001).

As atividades que não tiverem suas restrições removidas não devem ir para o planejamento de curto prazo, criando uma janela de confiabilidade e protegendo a produção de paradas. Para controlar o desempenho das equipes em remover as restrições dos pacotes de trabalho, existe o indicador Índice de Remoção de Restrições (IRR), o qual é a percentagem de restrições removidas em relação ao total de restrições.

O *lookahead planning* também tem objetivo de definir o ritmo e a sequência das atividades do fluxo de trabalho, de acordo com a capacidade produtiva, decompor as atividades do longo prazo em pacotes de trabalho, desenvolver métodos detalhados de execução do trabalho e manter pacotes de trabalhos prontos para o curto prazo – nível operacional (BALLARD, 1997).

O nível operacional deve ter o forte engajamento das equipes em atingir as metas estabelecidas, por isso, também é conhecido por *commitment planning* (BALLARD; HOWELL, 1998). Sua elaboração inicia pela listagem de atividades que dispõem de recursos disponíveis para sua execução, geralmente semanal (FORMOSO, 2001). Os pacotes de trabalho semanal devem conter as definições de ação (natureza da tarefa executada), elemento (ou componente físico da ação) e local (zona da obra onde a ação deve ser realizada) (MARCHESAN, 2001).

O controle dos pacotes realizados no plano de comprometimento é feita pelo indicador de Percentual de Pacotes Concluídos (PPC), o qual é obtido dividindo o número de tarefas concluídas pelo número total de tarefas planejadas (BALLARD, 2000). Outro indicador é as

causas de não cumprimento das atividades do plano de comprometimento. Por meio desse, é possível descobrir as causas recorrentes e tomar ações corretivas para solucionar problemas (BALLARD, 2000).

#### 2.4.4 Interface entre projeto do sistema de produção (PSP) e o planejamento e controle da produção (PCP)

Os limites entre as atividades que compõe os escopos do PSP e do PCP, especialmente o planejamento de longo prazo, são bastante tênues (LEITE; SCHRAMM; FORMOSO, 2006). Segundo Schramm (2009), a função do PSP é de estabelecer uma estrutura que, se bem gerenciada durante a operação do sistema produtivo, pode propiciar o alcance dos objetivos do empreendimento, cabendo ao PCP a função de buscar a aderência do executado ao cenário proposto no PSP. Entretanto, o PSP não deve ser confundido com a etapa de preparação do processo de planejamento, já que deve ser iniciado ainda na fase de elaboração do projeto do empreendimento (SCHRAMM, 2004).

Assim, percebe-se que a elaboração do PSP fornece informações de entrada ao planejamento de longo prazo (LEITE; SCHRAMM; FORMOSO, 2006) como mostra a Figura 6, o qual tem como produto o plano de longo prazo e a programação de recursos com longo *lead time* de aquisição (BERNARDES, 2001).

A partir de informações do PSP e do plano de longo prazo, pode-se estabelecer contratos de longo prazo com os fornecedores dos principais materiais e serviços, em função das demandas mensais geradas a partir do estudo dos fluxos de trabalho do empreendimento (LEITE; SCHRAMM; FORMOSO, 2006).

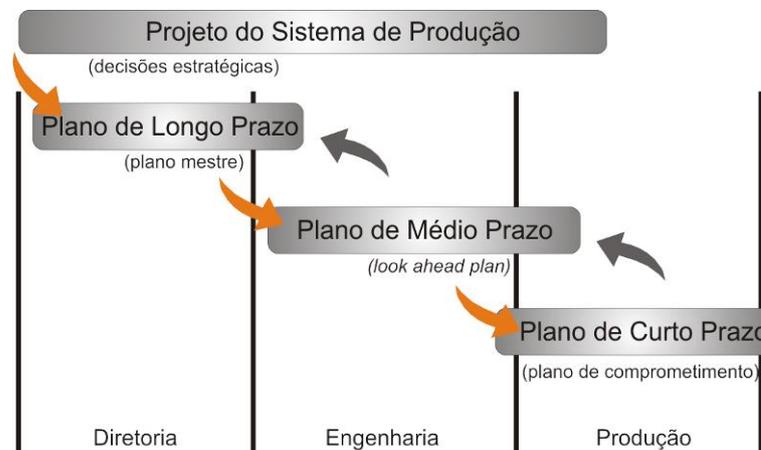


Figura 6 - Hierarquização do PCP (baseado em Costa, 2010).

Após a conclusão do PSP, as ferramentas utilizadas em seu processo de elaboração podem ser utilizadas no apoio à tomada de decisão na fase de execução da obra, como na elaboração de um plano de longo prazo mais exequível, e dos planos de médio e curto prazo, possibilitando o aumento dos esforços para remover restrições (RODRIGUES, 2006). Além disso, o PSP auxilia também na avaliação de alternativas de recuperação do planejamento (SCHRAMM, 2009).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O capítulo apresentou os conceitos e discussões sobre o projeto do sistema de produção. Procurou-se enfatizar o modelo de Schramm (2004) que foi tomado como referencial para o desenvolvimento do trabalho, pelo fato de apresentar ferramentas que podem ser utilizadas tanto no PSP quanto no PCP para apoiar a tomada de decisão. Nesta pesquisa, buscou-se associar algumas destas ferramentas à modelagem BIM 4D para a gestão da produção.

### 3 MODELAGEM 4D

O presente capítulo aborda a evolução da modelagem 4D, desde os desenhos à mão até o atual uso de modelos BIM, conceitos de visualização e de modelos 4D, e tecnologias de modelagem CAD e BIM. O aprofundamento na ferramenta BIM e a compilação das pré-condições e decisões necessárias para se implantar a modelagem 4D em empresas construtoras norteou a pesquisadora nos estudos empíricos realizados.

#### 3.1 CONCEITOS DE VISUALIZAÇÃO

Existem na literatura diversas definições para o termo visualização. Para o CMI (*Center for the Management of Information*) da Universidade do Arizona, a visualização é a transformação e análise que auxilia na formação de uma imagem mental de dados simbólicos (YERRAPATHRUNI, 2003). Outra definição é a de que a visualização é uma representação gráfica de dados e conceitos (WARE, 2000). Ela fornece meios para transmitir as informações derivadas de um modelo, com base em interpretações dos usuários e da detecção de padrões (AKBAŞ, 2004). Segundo Kunz e Fischer (2011), a visualização é a apresentação de um modelo de uma maneira que é compreensível para diversos participantes, a qual é normalmente visual, como, por exemplo, um modelo 3D de um produto.

Técnicas de visualização vêm sendo utilizadas em várias indústrias, como a automobilística, de eletrodomésticos e aeroespacial, com diferentes propósitos, incluindo análise e testes (KASIK *et al.*, 2002). Na construção civil, a visualização apresenta à equipe do empreendimento a oportunidade de projetar e avaliar os projetos de construção, além de comunicar visualmente as informações do projeto (MCKINNEY; FISCHER; KUNZ, 1998).

#### 3.2 BREVE HISTÓRIA DA MODELAGEM 4D

Os modelos 4D tem uma longa história de desenvolvimento e estão intrinsecamente ligados à história da informática e da manufatura.

Segundo Potter (1998<sup>4</sup> *apud* FUKAI, 2005), quando a indústria da manufatura, fez a ligação entre o modelo computacional e seu referido produto surgiu, então, uma nova indústria de protótipos rápidos e métodos de análise integrando projeto e produção. Isso inclui a noção de que a modelagem computacional do produto poderia incluir as análises sequenciais do tempo como uma quarta dimensão (POTTER, 1998 *apud* FUKAI, 2005). Segundo o mesmo autor, os modelos de computador podem definir a forma, os tamanhos e as sequências do processo de fabricação, sugerindo que o tempo é uma informação necessária à máquina para transformar o produto. Em outras palavras, o produto é manufaturado de acordo com o modelo computacional do produto lido pela máquina (JERRENS, 1999<sup>5</sup> *apud* FUKAI, 2005).

Já no caso da indústria da construção, historicamente, os gestores comunicavam parte da informação verbalmente aos envolvidos na obra, e, por meio de desenhos 2D, comunicavam suas decisões (KHATIB; CHILESHE; SLOAN, 2007). Esses desenhos 2D eram originalmente feitos a mão, os quais demandavam tempo e habilidade por parte dos profissionais que os elaboravam.

No início dos anos 1980, os programas CAD 2D começaram a ser desenvolvidos comercialmente na intenção de aumentar a produtividade e eliminar alguns problemas associados aos desenhos 2D feitos a mão (KHATIB; CHILESHE; SLOAN, 2007). Segundo os referidos autores, esses programas ganharam ampla aceitação na segunda metade dos anos 1990, quando os clientes começaram a pressionar por rápidas respostas para produção de desenhos 2D.

Nos sistemas CAD, os projetistas desenhavam por meio de símbolos primitivos (linhas, círculos, entre outros) representações gráficas do edifício (LEINONEM *et al.*, 2005), ou volumes, os quais possibilitaram a produção de visualizações 3D (KHATIB; CHILESHE; SLOAN, 2007).

O uso de modelos CAD 3D se iniciou na indústria da construção, quando, na metade da década de 1980, algumas grandes empresas, como a Bechtel, compraram *software* e hardware para desenvolverem suas próprias capacidades em 3D, que em seguida, as estenderam no ambiente *WalkThru*<sup>TM</sup>, que é um predecessor direto dos atuais modelos 4D (TOMMELEIN, 2005). Outras companhias, tal como a Stone & Webster, adaptaram o ambiente computacional

---

<sup>4</sup> POTTER, C. D.. Process Control CAD/CAM's newest tool aims to oversee both the data and the methods used to design complex assemblies. **Computer Graphics World**, v. 22, n. 8, p.69, 1998.

<sup>5</sup> JERRENS, K.K.. NIST's support of rapid prototyping standards. **IEEE Spectrum**, v. 38, n. 2, p.38, 1999.

utilizado na indústria automobilística (Catia) às suas próprias necessidades (TOMMELEIN, 2005).

No final dos anos 1980, os primeiros modelos e ferramentas 4D foram inicialmente desenvolvidos por grandes organizações envolvidas na realização de obras complexas, principalmente nos setores de infraestrutura e energia (EASTMAN *et al.*, 2011). Com o uso de ferramentas 3D, as empresas de construção passaram a construir modelos CAD 4D manualmente, e combinavam fotografias instantâneas de cada fase ou período de tempo do empreendimento (KAHAN; MADRID, 1987; RISCHMOLLER; ALARCON, 2002; EASTMAN *et al.*, 2011).

Na década de 1990, houve uma evolução dos pacotes de *software*: as ferramentas se tornaram mais inteligentes em relação aos objetos de construção, suas relações e atributos (ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2005). Isso significa que os objetos modelados contêm informações além das geométricas, como por exemplo, tipo, função, composição de materiais, cores, acabamentos, espaços, entre outros, que são abstrações hierarquizadas de uma edificação, apenas possíveis depois de uma mudança de paradigma da programação, a orientada ao objeto (OO) (EASTMAN, 1999).

Embora os modelos CAD 4D fossem criados manualmente, a ligação entre as atividades de construção e as geometrias, elementos ou grupos de elementos, era automática (EASTMAN *et al.*, 2011). Esse processo permitiu a modelagem de elementos parametrizados em alguns *software*, tal como o Autodesk Revit (TOMMELEIN, 2005), que utiliza o conceito de BIM. Mais recentemente, o uso de *software* BIM passou a impulsionar a modelagem 4D, permitindo aos planejadores criarem, revisarem e editarem os modelos 4D com mais frequência, o que favorece a elaboração de planos mais adequados (EASTMAN *et al.*, 2011).

A ideia de utilizar a modelagem 4D também surgiu a partir da necessidade de visualizar os resultados dos programas de simulação de eventos discretos<sup>6</sup> dos processos de construção, (IOANNOU *et al.*, 1996), tais como o STROBOSCOPE (KAMAT; MARTINEZ, 2001) e o VITASCOPE (KAMAT; MARTINEZ, 2004). No entanto, o conteúdo espacial dos modelos 3D não fazia parte da simulação e os modelos geométricos ainda necessitavam ser manipulados para o propósito da visualização (AKBAŞ, 2004).

---

<sup>6</sup> O que caracteriza a simulação de eventos discretos é o fato do tempo da simulação ser descontínuo, mostrando apenas os eventos de interesse e consecutivos, se supondo que o estado do sistema não se altera durante este intervalo (SALIBY, 1989).

### 3.3 CONCEITOS DE MODELAGEM 4D

Existem atualmente na literatura diversos conceitos e modelos associados à modelagem 4D (TOMMELEIN, 2005). Pode-se entender por modelos 4D, modelos tridimensionais ligados ao tempo (COLLIER; FISCHER, 1995; LEINONEN *et al.*, 2005), que pode ser o tempo real ou planejado de processos (TOMMELEIN, 2005) ou da conclusão de seus elementos (RISCHMOLLER; ALARCON, 2002; RILEY, 2005; KUNZ; FISCHER, 2011). Para Koo e Fischer (1998), CAD 4D é uma técnica de visualização de processos de construção baseado em geometria: uma animação 4D mostra a construção de um projeto.

Para um objeto estar em quatro dimensões, ele deve necessariamente existir em três dimensões e ser representado em sua quarta dimensão continuamente (FUKAI, 2005). Por exemplo, uma série de sequências de imagens tridimensionais não são consideradas 4D, primeiro por serem imagens, o que significa que estão em duas dimensões, segundo, pelo tempo ser representado por meio de *flashes* ou sequência de imagens (YAMAGUCHI; LIU, 1998 *apud* FUKAI, 2005). Ou seja, a quarta dimensão está em como o observador visualiza as mudanças no modelo ao longo do tempo continuamente (FUKAI, 2005).

Collier e Fischer (1995) demonstraram que o uso de modelos 3D melhora a compreensão do modelo a ser construído, se comparado ao uso de desenhos 2D. A Figura 7 ilustra como os intervenientes de um projeto (projetista, planejador e construtor) podem interpretar os desenhos 2D imaginando diferentes geometrias 3D (expressa dentro dos balões de pensamento). O modelo 3D proporciona a mesma compreensão do projeto a todos participantes.

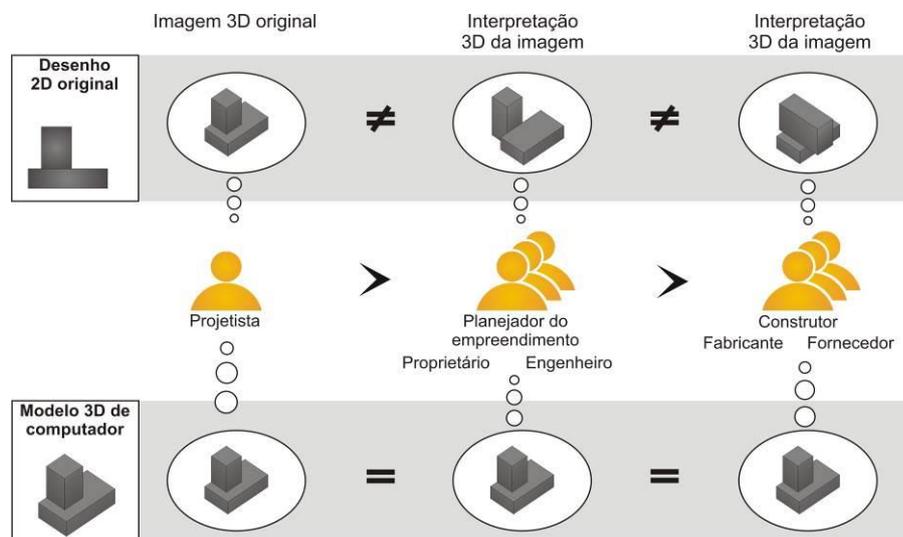


Figura 7: interpretações de modelos tridimensionais a partir de desenho 2D e modelo 3D (baseado em Collier e Fischer, 1995).

Seguindo o mesmo raciocínio, Collier e Fischer (1995) mostraram que o modelo 4D iguala a compreensão da sequência construtiva entre os projetistas, planejadores, subcontratados, fornecedores e construtores envolvidos, retratada na Figura 8.

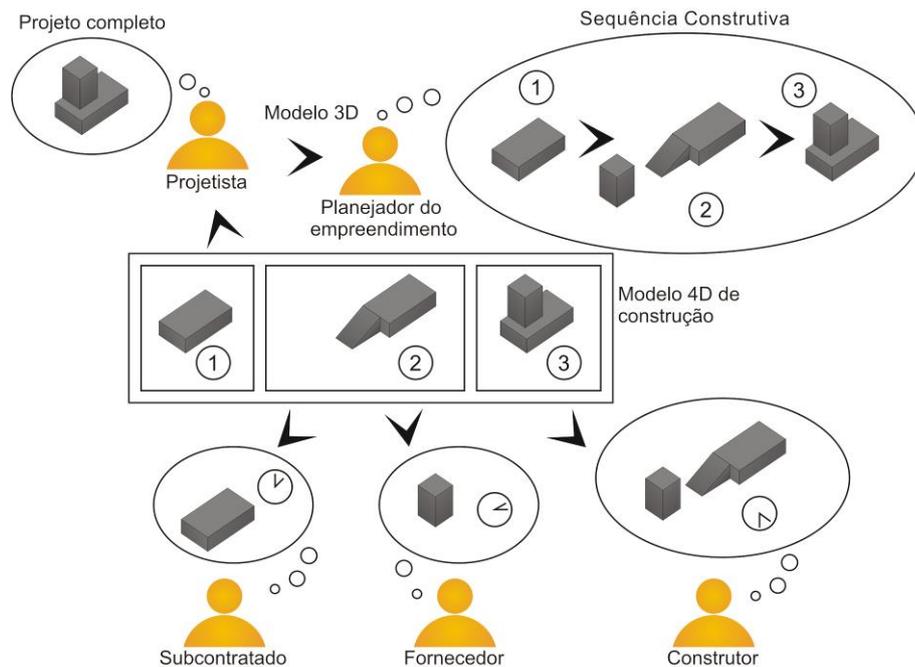


Figura 8: planejamento da construção com base em um modelo computacional 4D (baseado em Collier e Fischer, 1995).

### 3.4 BIM (*Building Information Modeling*)

Inicialmente, o conceito BIM foi proposto por Eastman na década de 70 (LIU; GAO, 2011). Em 1982, a Graphisoft desenvolveu o *software* ArchiCAD com o objetivo de criar modelos virtuais de edifícios (*virtual building models*), baseado na ideia de BIM (LIU; GAO, 2011).

Existem diversas definições de BIM, ora se referindo ao modelo (*Building Information Model*), ora ao processo de modelagem (*Building Information Modeling*). No Brasil, quando modelo, é chamado de Modelo da Informação da Construção, e quando processo, é denominado de Modelagem da Informação da Construção (ABNT, 2011). Segundo BuildingSMART (2008), BIM é uma representação digital de características físicas e funcionais de uma edificação que serve como fonte de compartilhamento de conhecimento

para informar sobre uma edificação, formando uma base de dados confiável para apoiar a tomada de decisão durante todo seu ciclo de vida.

De acordo com a *American General Contractors* (AGC, 2011), BIM é o desenvolvimento e uso de um *software* computacional para simular a construção e operação de uma edificação. O modelo resultante, um *Building Information Model*, é uma representação da edificação rica em dados, orientada ao objeto, inteligente e parametrizada, a partir da qual visões e dados adequados às necessidades de vários usuários podem ser extraídos e analisados para gerar informações que podem ser utilizadas para tomar decisões e melhorar o processo de entrega da edificação (AGC, 2011).

Succar *et al.* (2007 *apud* ARANDA-MENA *et al.*, 2009) argumentam que o BIM é uma mudança tecnológica e processual emergente, que tende a afetar todos os envolvidos na indústria da construção. A implementação de sistemas BIM requer drásticas mudanças nas atuais práticas de negócios (AOUAD; ARAYICI, 2010).

Devido às diversas definições de BIM, Eastman *et al.* (2011) esclarecem quais são as soluções de modelagem que não são utilizadas na tecnologia de projeto BIM:

- a) modelos 3D que contenham apenas as três dimensões geométricas com pouco ou nenhum atributo de objeto. Esses são úteis para visualização, mas não para fornecer suporte de integração de dados e análise de projeto;
- b) modelos sem suporte de comportamento (parametrizados);
- c) modelos que são compostos por múltiplas referências CAD 2D para definir uma edificação;
- d) modelos que permitam alterações nas dimensões em uma vista, e esta alteração não é automaticamente refletida em outras vistas.

Em modelos BIM, os objetos são semanticamente ricos, com dados do produto contidos no modelo, que é constituído por um objeto ou um conjunto de objetos (HALFAWY; FROESE, 2005). Os dados não só representam os atributos geométricos desses objetos, mas também, guardam o comportamento e a inteligência do mesmo, por meio de atributos comportamentais, inter-relacionamento de objetos, regras de design, e restrições de configuração (HALFAWY; FROESE, 2005).

Na modelagem parametrizada orientada ao objeto, o projetista define primeiro o elemento de uma classe ou família, que define uma mistura de geometria fixa e paramétrica, um conjunto de relações e regras para controlar os parâmetros, pelos quais, instâncias do elemento podem ser geradas (EASTMAN *et al.*, 2011). O formato de um modelo de uma família varia de acordo com seu contexto, pois os objetos e suas faces podem ser definidos por relações, essas envolvem distâncias, ângulos, e regras como anexada, paralela ou deslocada (EASTMAN *et al.*, 2011). Portanto, essas relações permitem à cada instância de um elemento de classe variar de acordo com seu conjunto próprio de parâmetros e as condições contextual de objetos relacionados (EASTMAN *et al.*, 2011). As regras também podem definir requisitos técnicos, como por exemplo, a espessura mínima de uma parede ou do cobrimento de concreto sobre uma armadura (EASTMAN *et al.*, 2011).

Simplificando, um modelo paramétrico combina um modelo do projeto (geometria e dados) com um modelo comportamental (gerenciamento de mudanças) (AUTODESK, 2007). Enquanto no CAD 3D tradicional todo aspecto da geometria de um elemento deve ser editada manualmente pelos usuários, em uma modelagem parametrizada, o formato e a geometria de conexão com outras famílias se ajustam automaticamente conforme suas regras a definirem (EASTMAN *et al.*, 2011).

Quando se trabalha com modelos BIM, um banco de dados é construído com objetos inteligentes que representam elementos de construção, como paredes, portas e janelas (LEE; SEXTON, 2007). Desse banco de dados, diferentes tipos de informações podem ser geradas automaticamente, como vistas, plantas, elevações, cortes e planos. Caso haja alteração no modelo BIM, as alterações refletem automaticamente nos documentos derivados do mesmo banco de dados central, garantindo um conjunto completo e consistente de documentação (EASTMAN *et al.*, 2011). Por isso, o uso de modelos BIM tem o potencial de gerar ganhos de produtividade (AGC, 2011), pelo fato de reduzir a necessidade de coleta e reformatação de informação, o que resulta no aumento da velocidade e precisão de informação transmitida, redução de custos associados pela falta de interoperabilidade, automatização de conferências e análises, e suporte às atividades de operação e manutenção (GSA, 2007; EASTMAN *et al.*, 2011).

Tobin (2008) propôs três graus de uso de BIM pela indústria AEC, nomeando-as de BIM 1.0, 2.0 e 3.0. Segundo o mesmo autor, BIM 1.0 refere-se ao desenvolvimento de projetos por

meio de modelos 3D parametrizados, porém não há colaboração entre projetistas e profissionais de outras áreas.

O BIM 2.0 corresponde a uma fase de implantação em que outras informações são adicionadas ao modelo 3D, tais como tempo (4D), custo (5D), análises de eficiência energética, entre outras (nD) (TOBIN, 2008). Os *software* de modelagem BIM apresentam uma série de informações multidisciplinares que podem ser extraídas por diversos profissionais da indústria AEC, baseadas no projeto da edificação e da aplicação de análises para geração de novas informações para tomada de decisão e melhorias no processo de entrega de uma edificação (LEE *et al.*, 2002; TOBIN, 2008; AGC, 2011). De acordo com Lee *et al.* (2002), mais dimensões (D) podem ser adicionadas para integrar informações de tempo, custo, construtibilidade, acessibilidade, sustentabilidade, acústica, iluminação e requisitos térmicos.

Na última fase de implantação de BIM, a 3.0, a qual Tobin (2008) a descreve como a era pós-interoperabilidade, são necessárias soluções de padrões compatíveis de dados em formato aberto e neutro para assegurar a compatibilidade dos dados entre diferentes aplicativos que são utilizados ao longo do ciclo de vida do empreendimento (LEE; SEXTON, 2007; AOUD; ARAYICI, 2010).

Nessa fase o intercâmbio de informações é feito por meio de padrões IFC (*Industry Foundation Classes*)<sup>7</sup> e outros protocolos elaborados pela BuildingSmart<sup>8</sup>, além de necessariamente, existir um banco de dados com base na internet compartilhado entre todos os envolvidos no desenvolvimento de um empreendimento.

### 3.5 MÉTODOS E FERRAMENTAS DE MODELAGEM 4D

A modelagem 4D pode ser executada por meio de uma variedade de ferramentas e processos (EASTMAN *et al.*, 2011), os quais são descritos a seguir.

---

<sup>7</sup> Arquivos IFCs fornecem um conjunto de regras e protocolos que determinam como o dado representa a edificação no modelo, e a agregação de especificações de classes de componentes permitem o desenvolvimento de uma linguagem de construção comum (LEE; SEXTON, 2007).

<sup>8</sup> Building Smart é o novo nome da IAI (Internacional Alliance for Interoperability).

### 3.5.1 Método manual baseado em sistemas CAD

No método manual para modelagem 4D com tecnologia CAD, utilizado há décadas, os modelos CAD 3D contêm apenas associações de tempo (EASTMAN *et al.*, 2011). Segundo GSA (2007), o modelo CAD 3D é a representação geométrica de componentes da edificação e tipicamente serve como uma ajuda na coordenação do projeto e construção, pois permitem, após sua ligação com o plano da construção, a visualização da sequência construtiva e do plano do edifício (GSA, 2007; EASTMAN *et al.*, 2011). Quando um detalhe do plano é alterado, o planejador deve re-sincronizar a imagem 4D manualmente com o plano, e criar um novo conjunto de *snapshots* ou animações: vídeos ou simulações virtuais do plano (EASTMAN *et al.*, 2011).

Devido à dificuldade de atualização, esse método é mais utilizado nos primeiros estágios de projeto, quando a visualização dos processos de construção é desejada pelo cliente ou outro envolvido (EASTMAN *et al.*, 2011). A Figura 9 apresenta o processo de modelagem 4D utilizando tecnologia CAD.

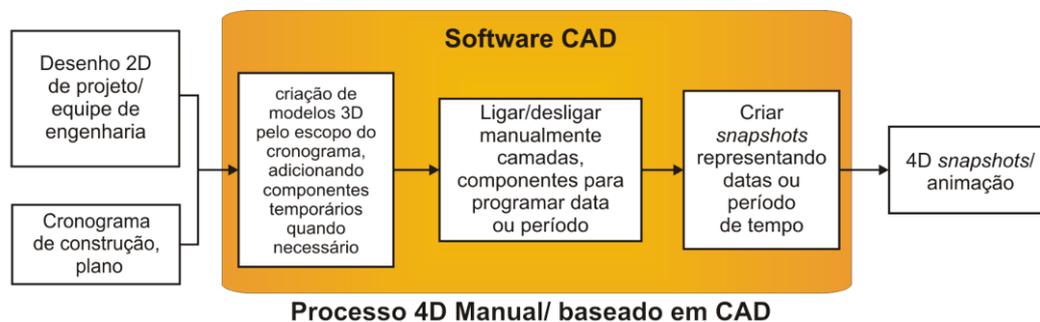


Figura 9: processo de modelagem 4D utilizando sistema CAD. Fonte: baseado em EASTMAN *et al.*, 2011.

Documentos CAD frequentemente não fornecem informações necessárias para avaliação efetiva do projeto (GSA, 2007). A informação que é suficiente para os desenhos CAD é frequentemente insuficiente para os requisitos de um modelo baseado no processo de construção (GSA, 2007). Dessa forma, os sistemas CAD não permitem ao projetista trabalhar com conceitos de componentes da edificação, os quais são básicos para o desenvolvimento de modelos BIM (LEINONEM *et al.*, 2005).

### 3.5.2 Ferramentas BIM com capacidade de gerar modelos 4D

As ferramentas de modelagem 4D podem importar modelos de sistemas CAD ou BIM (EASTMAN *et al.*, 2011). Na maioria dos casos, a informação extraída é limitada à geometria e a um conjunto mínimo de elementos ou propriedades de componentes, como nome, cor, grupo e nível hierárquico. Uma vez importado, o modelo 3D tem seus objetos conectados à uma ou mais tarefas, e uma certa tarefa pode ser conectada a um ou mais objetos. Os *software* e ferramentas especializados em 4D provém conexão direta com o plano e o modelo da edificação, tornando o processo mais rápido e confiável se comparado à tecnologia CAD (EASTMAN *et al.*, 2011).

Nos modelos 4D, às tarefas é atribuído o tipo de construção (construção, demolição ou temporário) ou comportamento visual, como, por exemplo, elementos temporários (elementos de canteiro) podem aparecer e depois desaparecer da simulação. Os objetos podem então, serem coloridos de acordo com atributos de dependência temporal, entre outros (EASTMAN *et al.*, 2011). Um diagrama apresentando o processo de modelagem por ferramentas especializadas em 4D para geração de modelos 4D é explicitado na Figura 10.

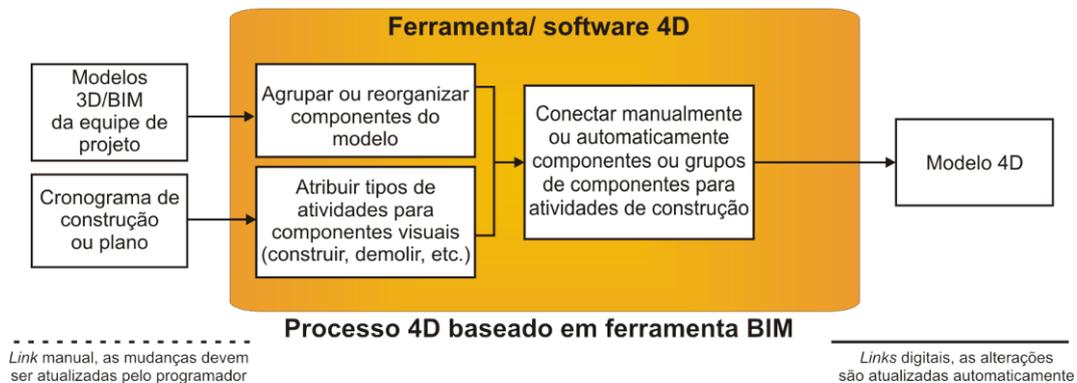


Figura 10: processo de modelagem 4D utilizando sistema BIM. Fonte: baseado em EASTMAN *et al.*, 2011.

Além disso, a modelagem 4D baseada em BIM utiliza ferramentas de análise que incorporam os componentes BIM e informações sobre o método de construção para que os planejadores ajustem o sequenciamento das atividades. Essas ferramentas incorporam o espaço, a utilização dos recursos e informações de produtividade (EASTMAN *et al.*, 2011).

### 3.6 IMPLANTAÇÃO DA MODELAGEM 4D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Alguns trabalhos acadêmicos descreveram aplicações da modelagem 4D na construção civil. Fischer, Haymaker e Liston (2005) discutiram sobre quem deve ser o responsável pela elaboração dos modelos 4D e como definir o nível de detalhe dos modelos, assunto esse também abordado por Riley (2005), que destacou alguns aspectos que auxiliam no ajuste do nível de detalhe dos modelos 4D. Coble, Blatter e Agaj (2005) descreveram a aplicação do CAD 4D no ambiente de trabalho da construção, apresentando as dificuldades, benefícios, pessoas envolvidas, entre outras informações.

Webb e Haupt (2005) analisaram os empecilhos encontrados no uso dos modelos CAD 4D, comparando projetos complexos com maior tempo de modelagem, em contraposição com maior risco para o sucesso do projeto sem o auxílio dessa ferramenta. Os referidos autores discorrem também sobre a simplificação dos modelos para que se tornem leves e funcionais para todos os envolvidos.

Issa, Flood e O'Brien (2005) apontaram barreiras para implantação da modelagem 4D nas empresas, incluindo a necessidade de infraestrutura, investimentos, mudanças nas práticas de negócios entre outras. Griffis e Sturts (2005) também descreveram sobre as barreiras na adoção da modelagem 3D e 4D na construção.

A seguir, são apresentadas as principais atividades envolvidas para implantação da modelagem 4D na construção civil baseadas nos trabalhos acadêmicos supracitados e organizadas para compor uma sequência de passos necessários.

#### 3.6.1 Definição do usuário do modelo 4D

O usuário do modelo 4D pode ser o setor de planejamento, setor de projetos, ou também as equipes presentes no canteiro de obra, como, por exemplo, o engenheiro de obras e os encarregados (COBLE; BLATTER; AGAJ, 2005). Para a implementação do 4D na gestão da obra, os usuários devem entender os potenciais benefícios desta nova tecnologia, pois, embora em um estágio inicial de implantação, os mesmos possam se beneficiar desta tecnologia pela simples visualização (COBLE; BLATTER; AGAJ, 2005).

### 3.6.2 Definição do escopo do modelo 4D

Para implantar o 4D é muito importante que as equipes do empreendimento decidam que problemas pretendem resolver a partir do uso de modelos 3D e 4D (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2005). A clara definição destes objetivos tem implicações na escolha das pessoas a serem envolvidas no esforço da modelagem (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2005).

A construção de um modelo 4D requer o modelo do produto, assim como informações geradas pelo planejamento da produção (FISCHER *et al.*, 2005). Algumas dessas informações são, precisamente, as informações que os participantes do projeto pretendem desenvolver ou aperfeiçoar através do processo de modelagem 4D (FISCHER *et al.*, 2005).

Hartmann, Gao e Fischer (2008) identificaram, em 26 estudos realizados na Universidade de Stanford, que os modelos 4D tinham comumente como escopo a revisão da construtibilidade dos planos e sequências construtivas para avaliação dos conflitos no tempo-espaço, acessibilidade no canteiro, coordenação de equipes, estruturas temporárias, áreas de estoque e estudo de diferentes métodos construtivos.

### 3.6.3 Definição do nível de detalhamento do modelo 4D

A escolha do nível de detalhe de uma dada tarefa deve ser determinada pelo propósito de seu uso, considerando seus impactos, bem como seus benefícios (LEITE *et al.*, 2011). O nível de detalhe apropriado do modelo depende dos objetivos dos usuários dos modelos 4D (EASTMAN *et al.*, 2001). De acordo com as respostas do que se espera do modelo 4D, é que se designará o nível de detalhamento do plano e do próprio modelo 3D (FISCHER; HAYMAKER; LISTON, 2005).

Segundo Riley (1998), modelos 4D pouco detalhados podem resultar na negligência de elementos críticos de uma sequência de atividades, ou, na não consideração de incertezas. O contrário, quando um plano é muito detalhado, pode tornar o trabalho tedioso e exceder o nível adequado para considerar as incertezas e variabilidades da obra (RILEY, 2005).

Riley (2005) aponta quatro aspectos a considerar no nível de detalhamento dos modelos 4D:

- a) planejamento do intervalo: decidir o intervalo de tempo a ser planejado e avaliado no modelo, tais como, por exemplo, horas, dias, semanas;

- b) utilização do espaço: definir os espaços que devem ser modelados. Riley (2005) observou através de estudos de caso que as áreas de descarga, armazenamento e de trabalho, bem como os caminhos que ligam esses espaços, são mais comumente utilizados pelas equipes e que deveriam ser o foco dos esforços de um plano detalhado;
- c) tipo de atividade: definir o nível de detalhe do trabalho das equipes que será considerado no planejamento, como, por exemplo, uma atividade de assentamento de blocos ou apenas uma atividade macro de alvenaria;
- d) zona de trabalho: definir as áreas específicas de instalações candidatas à interferências.

Khanzode *et al.* (2006) sugerem dois níveis de detalhamento dos modelos 4D, macro e micro:

- a) no nível macro: modelos 4D podem ser utilizados para comunicar questões de movimentação de materiais, áreas de andaime e estoque ao longo do projeto, rotas de acesso e construções em áreas ao redor da obra;
- b) no nível micro: modelos 4D podem ser utilizados para apresentar a sequência de construção em uma área ou período da obra específico. Isso permite às equipes de projeto determinar as localidades que devem estar disponíveis para se fixarem durante a construção, a sequência geral de seu trabalho comparado ao trabalho feito por outras equipes, os potenciais conflitos de tempo e espaço que possam ser encontrados e pontos de acesso para entrega dos materiais no local.

#### 3.6.4 Definição do *software* de modelagem 4D

Deve-se definir o *software* que atenda ao escopo inicial previsto e para isso, algumas considerações devem ser avaliadas nas ferramentas 4D (EASTMAN *et al.*, 2011):

- a) as geometrias, formatos BIM e informações de objetos que podem ser importadas;
- b) os formatos de plano que podem ser importados;
- c) a combinação e atualização automática dos modelos: se a modelagem for feita em ferramentas BIM, a importação e combinação desses modelos já é uma capacidade do *software*;

- d) a possibilidade de reorganização e divisão dos componentes dos modelos depois de importados;
- e) a possibilidade de adição ou remoção de componentes temporários, como andaimes, gruas, áreas de escavação, de estoque, entre outros. O ideal é que a ferramenta 4D tenha uma biblioteca desses componentes para que sejam rapidamente inseridos no modelo, mas, é possível que o usuário desenvolva sua própria biblioteca genérica;
- f) a possibilidade de movimentação de objetos em um período de tempo específico para permitir a visualização da movimentação dos equipamentos;
- g) a possibilidade de realização de análises específicas como conflitos de tempo-espaço, para identificar atividades simultâneas no mesmo espaço;
- h) a geração de *snapshots* ou criação de vídeos de períodos específicos de tempo com vistas predefinidas; e
- i) a conexão automática dos componentes da edificação ao plano por meio de campos ou regras.

### 3.6.5 Definição do modelador 4D

De acordo com Fischer, Haymaker e Liston (2005), aconselha-se que as mesmas empresas que constroem o empreendimento devam construir o modelo, porque eles terão o papel fundamental para especificar sua informação. Segundo os mesmos autores, os projetistas e modeladores nem sempre detêm todo o conhecimento necessário para modelar o projeto em alto nível de detalhe, até porque eles não se beneficiam diretamente da precisão dos modelos 3D.

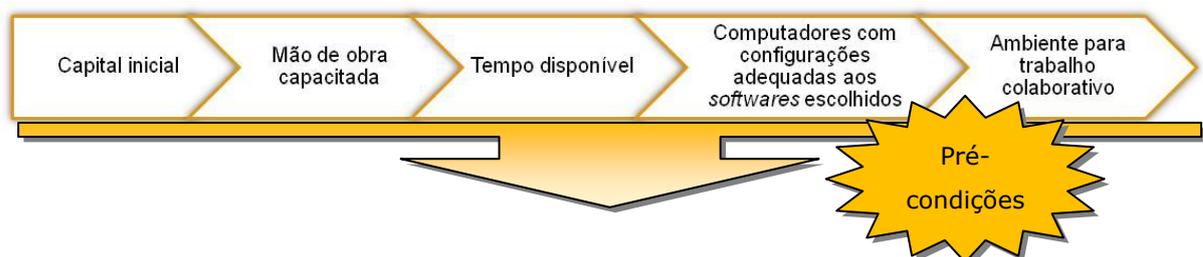
## 3.7 DESAFIOS PARA IMPLANTAÇÃO DE MODELOS 4D

Rischmoller e Alarcon (2002) destacam que a introdução de modelos 4D em uma organização e sua ampla implementação não é uma tarefa fácil e requer treinamento. A implantação da modelagem 4D nas empresas construtoras pode se confrontar com barreiras referentes à estrutura econômica e organizacional das empresas e às dificuldades técnicas impostas pelos *software*. São elas:

- a) barreiras econômicas e organizacionais:

- i. Impacto econômico indeterminado (GRIFFIS; STURTS, 2005);
  - ii. Inércia (GRIFFIS; STURTS, 2005). A principal barreira de adoção dos modelos 4D é a falta de atitude e conhecimento da indústria da construção (LEE; SEXTON, 2007);
  - iii. Falta de mão de obra treinada (GRIFFIS; STURTS, 2005): na *survey* de Khatib, Chileshe e Sloan (2007), citada anteriormente, o treinamento da mão de obra foi o segundo fator limitante do uso da modelagem 3D e 4D;
  - iv. Custo: Griffis (2005) afirma que o custo é visto como um empecilho apenas pelos não usuários. Issa, Flood e O'Brien (2005) e Goldstein (2001, *apud* KHATIB; CHILESHE; SLOAN, 2007) discordam do custo como barreira para implantação do processo de modelagem 4D, pois consideram que o mesmo está se reduzindo drasticamente. Na *survey* de Khatib, Chileshe e Sloan (2007), o custo representou o primeiro fator limitante do uso da modelagem 3D e 4D.
  - v. Nova forma de trabalhar em equipe: a tecnologia exige novas formas de trabalhar em conjunto. Muitos dos projetos que utilizaram modelos 3D/4D colaborativamente nas empresas tem sido feitos com caráter de experimentação (ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2005);
- b) barreiras técnicas:
- i. Tempo requerido para construir um modelo: modelos muito complexos podem necessitar de longos tempos de modelagem (AKBAŞ, 2004; WEBB; HAUPT, 2005);
  - ii. Simplificação do modelo: é necessária para promover mais funcionalidade aos modelos 4D. A simplificação é resultado de uma mistura das ideias de várias fontes, isto é, do empreiteiro, do proprietário, de consultores e do arquiteto para que o modelo 4D seja útil a todos os envolvidos (WEBB; HAUPT, 2005);
  - iii. Interoperabilidade: a interoperabilidade de *software* é essencial para a continuidade do desenvolvimento e implantação da modelagem 4D (WEBB; HAUPT, 2005);
  - iv. Interface visual: a interface visual deve proporcionar a personalização da visualização dos modelos 3D/4D e de dados relacionados para cada usuário, pois o mesmo tem diferentes necessidades de informações e preferências de visualização (ISSA; FLOOD; O'BRIEN, 2005);

A Figura 11 apresenta a síntese das principais barreiras técnicas e organizacionais a serem vencidas pelas empresas construtoras como pré-condições necessárias a um ambiente de implementação da modelagem BIM 4D.



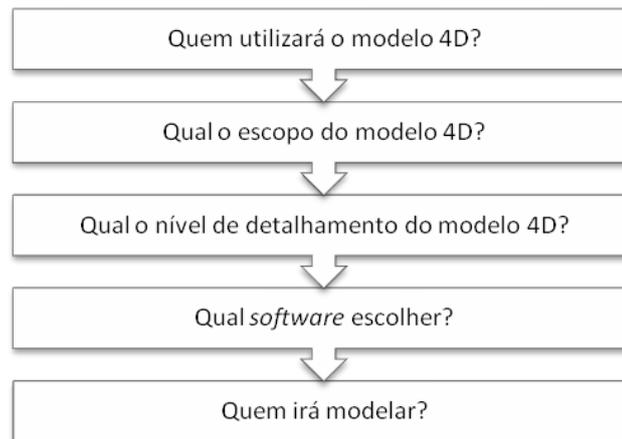


Figura 11: Pré-condições e definições para implementar a modelagem BIM 4D.

O custo da implantação, ou capital inicial, deve contemplar o treinamento da mão de obra, seu tempo dedicado à modelagem, a compra de *hardware* e *software*, a adoção de interfaces colaborativas, entre outros investimentos. Na parte inferior da figura, a pesquisadora reuniu as decisões, apresentadas nesse item do trabalho, para guiar o processo de implantação da modelagem BIM 4D nas empresas construtoras. Inclui definir quais serão os usuários do modelo BIM 4D e portanto, o escopo do modelo, o qual define o nível de detalhamento do mesmo. Conhecendo esse último, se deve escolher o *software* mais adequado à empresa, considerando sua interface visual, sua capacidade de interoperabilidade e de extração das informações necessárias aos usuários. Por fim, define-se então, quem será o modelador 4D mais capacitado a lidar com os níveis de detalhes exigidos e simplificar os modelos BIM 4D quando necessário.

### 3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente capítulo apresentou os conceitos e discussões sobre a modelagem 4D. Procurou-se enfatizar os trabalhos que descreveram aplicações dos modelos 4D em empresas da construção, pois os mesmos permitiram à pesquisadora, elaborar um passo a passo que embasou a fase exploratório deste trabalho.

## 4 MÉTODO DE PESQUISA

O presente capítulo descreve o método de pesquisa empregado neste trabalho. Inicialmente, é apresentada a estratégia de pesquisa, justificando sua escolha no desenvolvimento da mesma, e posteriormente, o delineamento da pesquisa, fechando o capítulo com a descrição detalhada das atividades realizadas.

### 4.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

Este trabalho trata de uma pesquisa sobre gestão da produção com auxílio da tecnologia da informação e comunicação (TIC). Mais especificamente, visa propor um método para projeto e planejamento de sistemas de produção na construção civil com o uso da modelagem BIM 4D. Logo, é uma pesquisa que estuda o artificial, em oposição às investigações típicas das ciências naturais, que visam desenvolver teorias que explicam ou preveem fenômenos naturais (MARCH; SMITH, 1995).

Por esta razão, adotou-se a abordagem da *design science research*, também denominada *constructive research* (pesquisa construtiva), para estudar as criações humanas, tais como as organizações e sistemas de informações (MARCH; SMITH, 1995). Constitui-se em um procedimento de pesquisa para produzir construções inovadoras, com intenção de resolver problemas encontrados no mundo real, e também fazer contribuições teóricas uma determinada área de conhecimento (LUKKA, 2003). Van Aken (2004) ressalta que a pesquisa construtiva visa desenvolver um conhecimento científico para apoiar a criação de intervenções ou artefatos por parte dos profissionais. Ela está focada no conhecimento para ser utilizado na concepção de soluções, as quais devem orientar as ações (VAN AKEN, 2004).

Inicialmente, a pesquisa construtiva surgiu em alguns campos do conhecimento específicos, tais como sistemas de informação (MARCH; SMITH, 1995), ciências contábeis (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993) e administração (VAN AKEN, 2004), mas tem potencial de aplicação em diversas outras áreas, tais como engenharia, medicina e ciências educacionais (LUKKA, 2003).

As características fundamentais da pesquisa construtiva são (LUKKA, 2003):

- a) se focar em problemas relevantes do mundo real para serem resolvidos na prática;
- b) produzir uma construção inovadora para resolver um problema inicial do mundo real;
- c) implementar a construção desenvolvida, e então, testar sua aplicabilidade prática;
- d) envolver o pesquisador e participantes na forma de uma equipe, na qual é esperado um aprendizado baseado na experimentação;
- e) conectar-se explicitamente a um conhecimento teórico prévio; e
- f) atentar-se às reflexões das descobertas empíricas baseadas na teoria (LUKKA, 2000 *apud* LUKKA, 2003).

A Figura 12 apresenta os elementos-chave da abordagem de pesquisa construtiva, de acordo com Kasanen, Lukka e Siitonen (1993).



Figura 12: Elementos centrais da pesquisa construtiva (baseado em Kasanen, Lukka e Siitonen, 1993).

Segundo Lukka (2003), há duas principais contribuições na pesquisa construtiva: (a) a própria construção desenvolvida, com base na sua utilidade para a organização, sendo ela uma contribuição ao conhecimento existente; (b) a aplicação e desenvolvimento do conhecimento teórico ao longo do estudo.

Os artefatos humanos produzidos podem ser, por exemplo modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais, e projetos de sistemas de informação (LUKKA, 2003). Todas essas construções são inventadas e desenvolvidas, mas não descobertas. Além dos artefatos, March e Smith (1995) sugerem que na pesquisa construtiva existem outros tipos de produtos, alguns de caráter teórico, tais como constructos e modelos, e outros de caráter metodológico, como métodos e implementações.

Para van Aken (2004) o produto da pesquisa construtiva é o design, o qual pode ser definido como uma representação de um sistema ou processo a ser realizado (VAN AKEN, 2004). De acordo com o referido autor, existem três tipos de design nesta abordagem:

- a) design do objeto: o design de uma intervenção ou de um artefato;
- b) design da implementação: o plano de implementação da intervenção ou da construção do artefato;
- c) design do processo: o método para projetar a solução de um problema.

De acordo como van Aken (2004), divide as investigações que adotam a pesquisa construtiva em quatro etapas: (a) definir o problema; (b) planejar a intervenção; (c) aplicar a intervenção; e, (d) avaliá-la. Segundo March e Smith (1995), a pesquisa construtiva pode ser dividida em duas atividades: construir e avaliar. Na visão desses autores, estas etapas são complementadas pelas atividades das ciências descritivas de teorizar e justificar.

Na pesquisa construtiva, o desempenho do artefato está relacionado ao ambiente no qual opera (MARCH; SMITH, 1995). Portanto, não apenas o artefato deve ser avaliado, mas o critério de avaliação em si deve ser determinado considerando o ambiente particular no qual o artefato foi desenvolvido ou aplicado (MARCH; SMITH, 1995).

De acordo com Lukka (2003), as contribuições práticas e teóricas do resultado desse tipo de pesquisa podem ser satisfatórias do ponto de vista de todos os envolvidos no projeto de pesquisa. Entretanto, algumas pesquisas podem ter resultados limitados no nível prático, porém, com relevantes implicações teóricas (LUKKA, 2003).

Este trabalho é classificado como uma pesquisa construtiva, pelo fato de que seu desenvolvimento visou a contribuir na melhoria da tomada de decisão durante a gestão da produção de empreendimentos da construção civil, os quais necessitam de ferramentas de visualização espacial e temporal da obra devido sua constante transformação e alteração nas relações do empreendimento com o entorno ao longo do tempo, sendo esse um problema real às empresas construtoras.

No decorrer do trabalho, a pesquisadora se baseou em conhecimentos teóricos sobre Gestão da Produção, PSP, PCP, modelagem 4D e BIM; e prático, proporcionado por quatro estudos empíricos em empresas construtoras. O principal produto desta pesquisa foi a construção de um método, o artefato construído ao longo dos estudos empíricos para solucionar problemas

reais do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção. Este método foi avaliado em função da sua utilidade e facilidade de uso. Por fim, a pesquisa visou contribuir no refinamento do referencial teórico sobre a aplicação de modelos BIM 4D no projeto e planejamento de sistema de produção.

## 4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa se desenvolveu em quatro grandes fases conforme mostra a Figura 13: (a) revisão bibliográfica, que ocorreu ao longo de todo o trabalho; (b) fase exploratória; (c) fase de desenvolvimento; e (d) fase de consolidação.

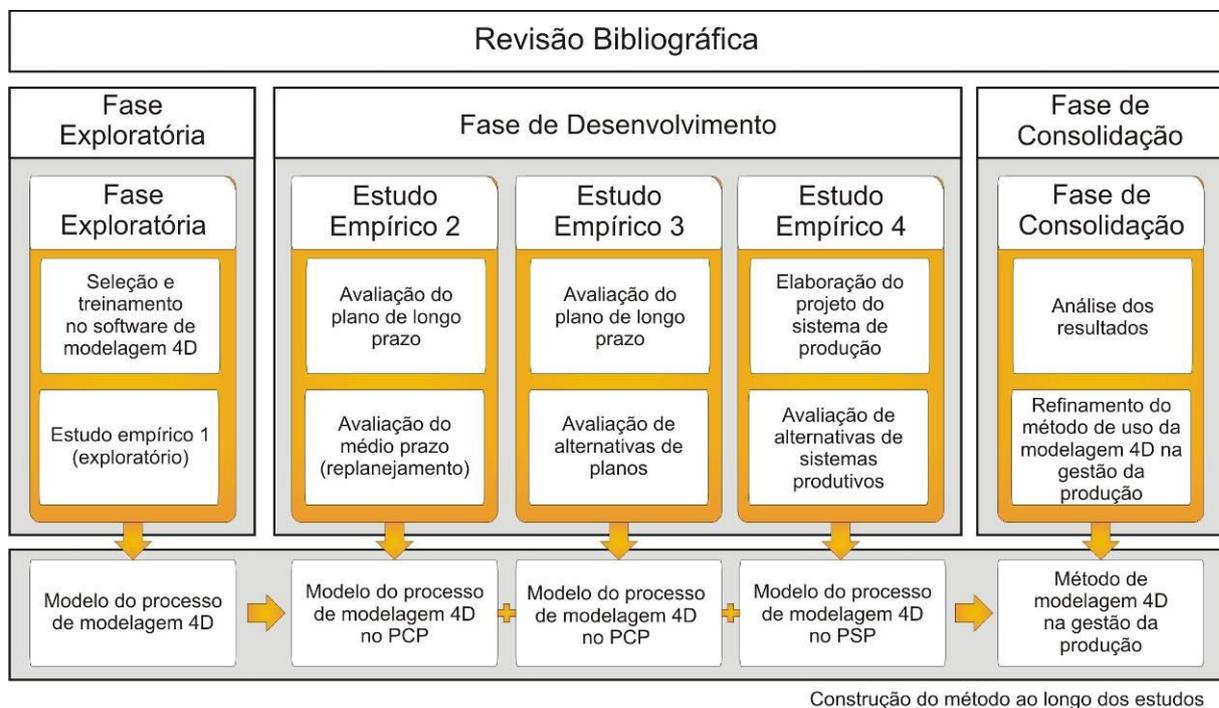


Figura 13: Delineamento da Pesquisa.

A primeira fase da pesquisa foi marcada pela busca de uma lacuna de conhecimento acadêmico, ao mesmo tempo em que se buscou a compreensão de um problema real das empresas construtoras. Para isso, uma revisão bibliográfica inicial orientou a pesquisadora na escolha do tema. Em seguida, buscou-se compreender em profundidade os temas de gestão da produção, modelagem 4D e BIM, que perdurou por todo o desenvolvimento deste trabalho.

A segunda fase, de caráter exploratório, durou cinco meses e contemplou as seguintes tarefas: (a) seleção do *software* de modelagem 4D; (b) treinamento da pesquisadora no *software*

escolhido; (c) estudo empírico 1 para aprofundamento do estudo do *software* escolhido, e exploração do plano espacial de um empreendimento por meio da modelagem BIM 4D.

O estudo 1 iniciou com o propósito de realizar um diagnóstico do processo de planejamento e controle da produção na empresa L. Entretanto, durante esse diagnóstico, a pesquisadora explorou a ferramenta de modelagem BIM 4D selecionada. Neste estudo se utilizou a modelagem BIM 4D para apoiar o planejamento da obra, embora não houvesse forte interação entre a empresa e a pesquisadora. Nesta etapa, buscou-se compreender como funcionava o *software* escolhido e as possibilidades oferecidas pela visualização 4D. Como produto final desta fase, a pesquisadora propôs, de forma preliminar, um modelo do processo de modelagem BIM 4D, que foi utilizado nos demais estudos desta pesquisa.

A terceira fase, de desenvolvimento compreendeu três estudos empíricos (2, 3 e 4) realizados de forma sequencial, os quais permitiram o desenvolvimento do método de modelagem BIM 4D. No estudo empírico 2, as lições do primeiro processo de modelagem BIM 4D foram utilizadas em conjunto com outras ferramentas, para avaliar o plano de longo prazo do empreendimento e realizar o seu replanejamento. Neste estudo, houve pouco envolvimento dos participantes da empresa na pesquisa, os quais atuaram fornecendo informações e requisitando simulações através do modelo BIM 4D. Como produto deste estudo, foi elaborado um modelo do referido processo de modelagem BIM 4D no PCP.

No estudo empírico 3, o processo de modelagem anterior embasou o desenvolvimento do estudo, o qual se focou em propor melhorias ao plano de longo prazo de um empreendimento. Como no estudo 2, foram utilizadas diversas ferramentas e modelos BIM 4D para avaliar o plano de longo prazo, sendo verificada a sequência de execução das atividades, e estudadas alternativas de estratégias de ataque do empreendimento, conforme a equipe participante da empresa solicitava. Como produto do estudo, um modelo do processo de modelagem BIM 4D no PCP foi elaborado, a partir do refinamento do modelo produto do estudo empírico 2.

Já no estudo empírico 4, apesar da obra se encontrar na etapa de terraplanagem e fundação, algumas decisões do projeto do sistema de produção ainda não haviam sido tomadas. Portanto, o foco do estudo foi na aplicação das ferramentas, incluindo a modelagem BIM 4D, na tomada de algumas decisões referentes ao PSP do empreendimento, em conjunto com os participantes da empresa construtora. O modelo BIM 4D auxiliou na escolha de equipamentos de transporte vertical, e na visualização de possíveis planos de ataque conforme

disponibilidade de mão de obra e ritmo de vendas. O produto final desse estudo foi um modelo do processo de modelagem BIM 4D, vinculado a algumas decisões do projeto do sistema de produção, baseado no modelo produto dos estudos anteriores.

Nos estudos 1, 2 e 3, as ferramentas foram aplicadas no processo de planejamento e controle da produção, mais especificamente, no planejamento de longo prazo, e, no estudo 4, no processo do projeto do sistema de produção. Entretanto, devido ao caráter oportunista do planejamento, ou seja, níveis hierárquicos inferiores ao que estavam sendo executados tiveram algumas atividades investigadas mais detalhadamente. Isso aconteceu, por exemplo, quando se planejava o longo prazo, mas a necessidade de informações e a oportunidade de investigação de uma atividade, permitiram à pesquisadora simular aspectos do planejamento de médio prazo.

Na última fase, de consolidação, o método final de gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D foi construído baseado nos modelos anteriores desenvolvidos nos estudos. Em seguida, reuniu-se os dados dos quatro estudos para avaliar o método de modelagem BIM 4D na gestão da produção com base em um conjunto de constructos. Por conseguinte, identificou-se e analisou-se a contribuição teórica alcançada por esse trabalho.

## 4.3 FASE EXPLORATÓRIA

### 4.3.1 Seleção do *Software* de Modelagem e Visualização 4D

A seleção do *software* de modelagem 4D ocorreu durante os meses de fevereiro e março de 2011, finalizando com a solicitação da licença do programa escolhido à empresa desenvolvedora. O processo de escolha do programa seguiu as seguintes etapas:

- a) explicitação dos propósitos da modelagem BIM 4D: por meio da revisão bibliográfica sobre modelos 4D, foi possível verificar as atuais aplicações dessa tecnologia para gestão da produção, como estudo do planejamento espacial dos canteiros, visualização do fluxo de trabalho, entre outras.
- b) levantamento dos *software* BIM comerciais disponíveis no mercado: selecionou-se alguns *software* baseados na avaliação apresentada no BIM Handbook (EASTMAN *et al.*, 2011): 4D Virtual Builder (D-Studio), ConstructSIM (Bentley Systems), Navisworks Manage (Autodesk), Synchro

(Synchro Ltd.), 5D Presenter (Vico Software) e Visual 4D Simulation (Innovaya).

- c) obtenção de licenças de avaliação gratuitas: foram solicitadas licenças de avaliação para todas as fabricantes de *software*. Porém só foram analisados os programas Navisworks, Synchro e 5D Presenter. Os demais fabricantes não cederam uma licença para a realização desta pesquisa.
- d) avaliação dos *software*: avaliou-se os programas em relação à sua interface amigável, facilidade de atualização de arquivos, ligação entre plano e modelo 3D, edição de modelos 3D e de planos, geração de animação, geração de vídeos 4D, interoperabilidade, e facilidade de obtenção de suporte e assistência do fabricante.

O *software* 5D Presenter faz parte de um pacote da Vico Software para se trabalhar com modelos nD. Portanto, o plano utilizado na elaboração do modelo 4D deve ser feito em outro *software* da empresa, o Vico Control e o modelo 3D, no Constructor ou ArchiCAD. A importação de modelos IFC travava o programa, e, por esta razão, o mesmo foi descartado.

Já o Synchro possibilita planejar em CPM e visualizá-lo através de um gráfico Gantt, incluindo recursos, custos, e comparativo entre planejado e executado, além de exportar e importar arquivos do MSProject, Primavera™ e Asta PowerProject. Entretanto, importa arquivos IFC, e provenientes do AutoCAD, Google SketchUp, entre outros. Esse programa também permite comparar diferentes planejamentos em duas telas simultâneas e dividir componentes do modelo 3D. Apesar de ser uma ferramenta que atendia a diversos requisitos, não foi utilizada pois o fabricante não disponibilizou uma licença estudantil para esta pesquisa.

O *software* Navisworks Manage permite a geração de *scripts* para animação de equipamentos do canteiro de obras, utiliza regras para conexão automática dos componentes do modelo 3D com as atividades do plano e permite a comparação entre o plano original e o executado, utilizando cores para representar atividades atrasadas, no prazo ou adiantadas. O programa apresenta também uma biblioteca de avatares (personagens), luzes e materiais para serem aplicados nos modelos 3D, podendo até gerar renderizações. Também tem grande facilidade em atualizar modelos 3D provenientes do SketchUp e AutoCAD Architecture, *software* que a pesquisadora já utilizava, além de importar IFC, arquivos do MSProject e Primavera.

A Figura 14 apresenta um resumo das comparações entre os três *software*.

	Navisworks Manage (Autodesk)	Synchro (Synchro Ltd)	5D Presenter (Vico Software)
Interface Amigável	***	***	*
Interoperabilidade com <i>software</i> de planejamento e 3D	***	**	*
Facilidade de ligação entre plano e modelo 3D	***	***	**
Facilidade de editar modelos 3D e planos	*	***	*
Facilidade para animar e gerar vídeos	***	***	**
Facilidade de suporte e assistência do fabricante	***	*	**

Figura 14: quadro comparativo do processo de avaliação.

Nota: \* Baixo \*\* Médio \*\*\* Alto.

O *software* escolhido portanto, foi o Navisworks Manage da Autodesk, pois obteve o maior escore dentre os demais programas, além da fabricante fornecer licença gratuita a estudantes. Apesar de não ter alguns recursos do Synchro, o Navisworks Manage atendeu o objetivo de se obter modelos BIM 4D rapidamente.

Pelo fato da pesquisadora já modelar em BIM 3D no AutoCAD Architecture e seus arquivos terem boa interoperabilidade com o Navisworks Manage, o programa de modelagem BIM 3D Autodesk Revit Architecture foi descartado, pois necessita de *plug-in* para exportar a modelagem 3D em “.nwc” (extensão dos arquivos Navisworks) e assim, ser aberto pelo *software* de modelagem 4D. Isso deve ser feito a cada alteração nos modelos BIM 3D, o que torna o processo de modelagem 4D mais demorado.

Arquivos com extensão ifc (*industry foundations classes*) também devem ser reexportados para serem atualizados pelo Navisworks, o que pode ocasionar perdas na ligação dos componentes 3D com suas respectivas tarefas. No mais, ambas extensões (nwc e ifc) perdem as características de material e textura dos modelos 3D, o que ocasiona a importação de modelos inteiramente brancos e de difícil diferenciação dos componentes de construção, necessitando a aplicação de materiais nos mesmos para facilitar o entendimento da modelagem 4D.

#### 4.3.2 Treinamento da Pesquisadora

O treinamento da pesquisadora no *software* escolhido iniciou logo após a seleção do mesmo, e consistiu em leitura de manuais e guias de utilização do *software*, além de assistir aos

vídeos-aulas disponíveis nos *websites* dos fabricantes dos programas<sup>9</sup>. Após a seleção da ferramenta para o desenvolvimento da presente pesquisa, houve a etapa de familiarização da pesquisadora com o programa através da geração de modelos 4D em caráter exploratório no estudo empírico 1.

#### 4.3.3 *Software* no processo de modelagem BIM 4D

O processo de modelagem BIM 3D e 4D se configurou de maneira similar em todos os estudos desta pesquisa. Os arquivos de entrada de informações de plano eram obtidas de um arquivo MSProject. Os projetos vinham sempre em AutoCAD 2D e eram modelados em BIM 3D no AutoCAD Architecture. Equipamentos e instalações que compunham o canteiro de obra eram modelados no SketchUp devido à grande biblioteca de modelos, o Armazém 3D do Google, uma *webpage* para compartilhar modelos 3D elaborados pelos usuários do *software*. A modelagem BIM 4D era realizada no *software* Autodesk Navisworks Manage 2011 ou 2012, conforme consta na Figura 15.

Todos esses programas permitiam a troca de informações em diferentes extensões de arquivos. Os resultados das modelagens BIM 4D podiam ser assistidos em arquivos de vídeo, e o plano final, exportado para MSEXcel ou MSProject (Figura 16).

Item	Planejamento das atividades	Modelagem BIM 3D do empreendimento	Modelagem 3D do canteiro de obra, equipamentos, instalações provisórias	Modelagem BIM 4D
<i>Software</i>	MS Project 2003	AutoCAD Architecture 2008/2012	SketchUp 6	Navisworks 2011/2012
<b>Extensão</b>	*.mpp *.csv (importação)	*.dwg	*.skp	*.nwf *.csv (exportação timeliner)

Figura 15: *software* utilizados no processo de modelagem BIM 4D.

<sup>9</sup> No *website* da Autodesk existem muitos conteúdos disponíveis em aulas e vídeos-aulas, além do guia de utilização do *software* Navisworks, o que foi imprescindível na rápida familiarização da pesquisadora no programa. Essa acessibilidade às informações e ao suporte técnico foi considerada como mais uma facilidade de se implantar o *software* nas empresas e treinar seus futuros usuários.

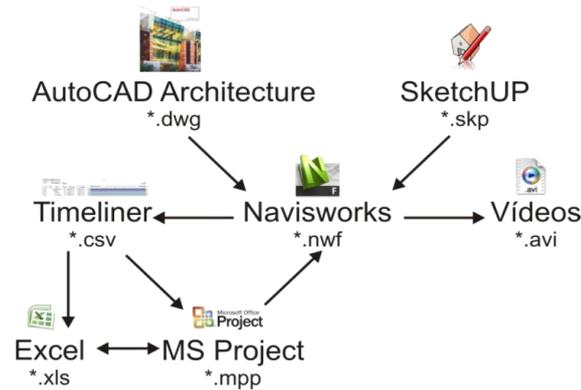


Figura 16: fluxo de informações entre os *software* utilizados no processo de modelagem BIM 4D.

#### 4.3.4 Estudo Empírico 1

O estudo empírico 1 ocorreu em um empreendimento (L2) na cidade de Porto Alegre em uma empresa construtora de grande porte<sup>10</sup> (L) com atuação em grande parte do país. Este estudo iniciou no final de fevereiro de 2011 e foi finalizado com a apresentação dos resultados na sede da empresa em maio de 2011.

##### 4.3.4.1 Descrição da Empresa L

A empresa L foi fundada em 1974 na cidade de Porto Alegre, e atua principalmente no segmento de mercado de edifícios residenciais para média e alta renda, com obras, predominantemente, em estrutura de concreto armado e vedação em blocos cerâmicos. Em 2007, esta empresa foi comprada por uma grande construtora brasileira, a qual tem produtos diversificados em várias cidades do país. Um desses produtos são habitações para baixa renda, executadas no sistema construtivo de alvenaria estrutural. Esta mudança forçou a empresa L a ampliar seu mercado e conhecimento para atender à produção neste novo segmento.

##### 4.3.4.2 Descrição do Empreendimento L2

O empreendimento L2 corresponde a um novo produto da empresa construtora voltado à população de baixa renda, financiado pelo programa MCMV, com sistema construtivo em alvenaria estrutural. O mesmo localiza-se na Região Norte da cidade de Porto Alegre - RS, em um terreno de 11.145,42 m<sup>2</sup>, no qual estão distribuídas doze torres de apartamentos,

<sup>10</sup> Segundo a classificação do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas) (SEBRAE-MG, 2005) é considerada microempresa a empresa que tem entre um e dezenove funcionários; empresa de pequeno porte, entre 20 a 99 funcionários; médio porte, entre 100 e 499; e grande porte, a empresa que possui mais de 500 funcionários registrados.

estacionamento para 215 vagas, área de lazer com piscina, *solarium*, salão de festas, quadra de esportes, *playground* e quiosque com churrasqueira. Cada torre tem cinco pavimentos (térreo e 4 pavimentos tipo), com quatro apartamentos por andar, totalizando duzentas e quarenta unidades habitacionais (Figura 17). Todos os apartamentos são de tamanho único, com dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro, com aproximadamente 47 m<sup>2</sup> de área privativa. A obra havia iniciado em janeiro de 2011 e tinha término previsto para abril de 2012. Trabalharam no empreendimento 90 funcionários, sendo 22% vinculados a subempreiteiros.



Figura 17: ilustração de guarita e fachada e planta do apartamento do empreendimento L2. Fonte: empresa L.

A Figura 18 apresenta brevemente os principais materiais e técnicas construtivas adotadas no empreendimento.

Elemento Construtivo	Materiais/Técnicas Construtivas
Fundações	Estacas escavadas
Paredes	Alvenaria Estrutural
Lajes	Pré-moldadas
Esquadrias	Janelas de alumínio e portas de madeira

Figura 18: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento L2.

#### 4.3.4.3 Etapas e Atividades Realizadas no Estudo Empírico 1

O estudo foi composto por três etapas distintas: (a) diagnóstico do processo de elaboração do PCP; (b) avaliação do plano de longo prazo do empreendimento L2; e, (c) modelagem BIM 3D e 4D. As duas últimas etapas ocorreram concomitantemente, pois, os modelos BIM 4D também foram utilizados como fonte de informações para avaliação do plano de longo prazo.

### Diagnóstico de Elaboração do Planejamento e Controle da Produção

O diagnóstico iniciou com entrevistas com funcionários de diversos setores da empresa, a exemplo, a engenheira chefe do setor de planejamento e os engenheiros de dois empreendimentos, para entender o processo de elaboração do PCP. Em seguida, a pesquisadora participou de uma reunião mensal de indicadores das obras para compreender as análises feitas com os dados gerados pelo PCP das obras, e coletou documentos referentes ao planejamento.

A partir dos dados coletados e de entrevistas semiestruturadas, gerou-se um diagrama de fluxo de dados (DFD) de todo o processo de planejamento, desde o estudo de viabilidade de um empreendimento até sua produção. Este diagrama é composto pelos setores envolvidos no processo do PCP e que trocam informações entre si durante todo o período de trabalho. Sua análise permitiu à pesquisadora realizar observações para o diagnóstico e contribuiu para entender a origem de diversos problemas vivenciados no empreendimento L2.

### Avaliação do Plano de Longo Prazo

Para avaliar o plano de longo prazo da empresa, utilizou-se a técnica da linha de balanço (LOB) e o modelo BIM 4D do empreendimento, por meio dos quais foi possível analisar interferências entre as atividades, a estratégia de ataque, o fluxo de trabalho e gerar o histograma de recursos.

### Modelagem BIM 3D e 4D

Um modelo 3D com laje, alvenaria estrutural e cobertura foi desenvolvido a partir de projetos em CAD 2D do empreendimento. Modelos de equipamentos de transporte e instalações temporárias também foram criados. Em seguida, o modelo BIM 4D foi gerado para visualização do plano de longo prazo do empreendimento L2 e as interferências de equipamentos de transporte vertical, proteção coletiva e estoques presentes no canteiro.

Após a avaliação do plano de longo prazo do empreendimento, novas alternativas de planos foram simuladas na linha de balanço e no modelo BIM 4D para mostrar a potencialidade das ferramentas em analisar e visualizar o sequenciamento da produção. Foram simuladas duas alternativas de plano utilizando os recursos de mão de obra de maneira distinta, a fim de diminuir o trabalho em progresso, interferências, entre outras perdas no canteiro de obra.

O quadro resumo abaixo apresenta as ações e fontes de evidência desenvolvidas nas atividades pertencentes a cada etapa do estudo e seus propósitos (Figura 19).

ETAPAS	ATIVIDADE	AÇÕES/ FONTES DE EVIDÊNCIA
<b>DIAGNÓSTICO DE ELABORAÇÃO DO PCP</b>	1 Reunião com gerência de planejamento da empresa	- apresentação das equipes da empresa e de pesquisadores e objetivos do estudo.
	2 Reuniões com engenheira chefe do setor de planejamento, engenheiros de obras, 2 estagiários	- 1 entrevista não estruturadas para compreensão inicial da empresa, seus departamentos, processos, produtos; - 1 entrevista semiestruturada para elaboração do DFD (vide apêndice A); - 1 entrevista estruturada para caracterização da empresa e obras; - coleta e análise de documentos de planejamento (metas mensais, projetos, planos de longo prazo); - observações diretas em reuniões de planejamento de curto prazo e mensais de indicadores de obras.
	2 Visitas ao canteiro de obra e entrevista com engenheiro da obra	- 2 entrevistas não estruturadas com engenheiro da obra para compreensão dos processos em execução; - coletas e análises de documentos de planejamento (plano de curto prazo, PPC, Registro de Anomalias, FVS); - registros fotográficos do canteiro de obras.
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D (1ª VEZ)</b>	Modelagem BIM 3D (AutoCAD Architecture e SketchUp)	- preparação do modelo BIM 3D do empreendimento; - preparação do modelo 3D dos equipamentos, instalações e recursos presentes no canteiro de obra.
	Modelagem 4D (Autodesk Navisworks Manage, MSProject)	- conexão do modelo 3D do empreendimento às atividades referentes às geometrias de lajes, alvenarias, coberturas e urbanização provenientes do plano de longo prazo fornecido pela empresa em MSProject (modelagem BIM 4D).
<b>AVALIAÇÃO DO PLANO DE LONGO PRAZO</b>	Elaboração LOB	- identificação de conflitos devido à estratégia de ataque utilizada e de interferências espaciais no canteiro; - identificação de pequenos problemas de precedência entre as atividades, trabalho em progresso (WIP) e superestimação de mão de obra.
	Simulação de cenários (Autodesk Navisworks e LOB)	- elaboração de duas alternativas de plano de longo prazo por meio das ferramentas LOB e modelo BIM 4D de forma conjunta para visualizar o empreendimento.

Figura 19: atividades realizadas no estudo empírico 1.

#### 4.4 FASE DE DESENVOLVIMENTO

##### 4.4.1 Estudo Empírico 2

No estudo empírico 2, a modelagem BIM 4D foi utilizada durante a execução da obra para avaliar o plano de longo prazo e estudar o replanejamento do empreendimento L3 no médio prazo. Este estudo ocorreu nos meses de julho, agosto e setembro de 2011.

#### 4.4.1.1 Descrição do Empreendimento L3

O empreendimento L3 (Figura 20), localizado na Região Leste de Porto Alegre – RS, consistiu na execução de duas torres de apartamentos, estacionamento para 373 vagas e ampla área de lazer com salão de festas e de jogos, *kids place*, quiosque churrasqueira, quadra de tênis, *pet place*, quadra poliesportiva, *playground*, bangalô zen, sauna, SPA, piscina coberta e aquecida, biribol, piscina adulto e infantil, *solarium*, *fitness center*, espaço gourmet, praças, trilha, entre outros espaços.

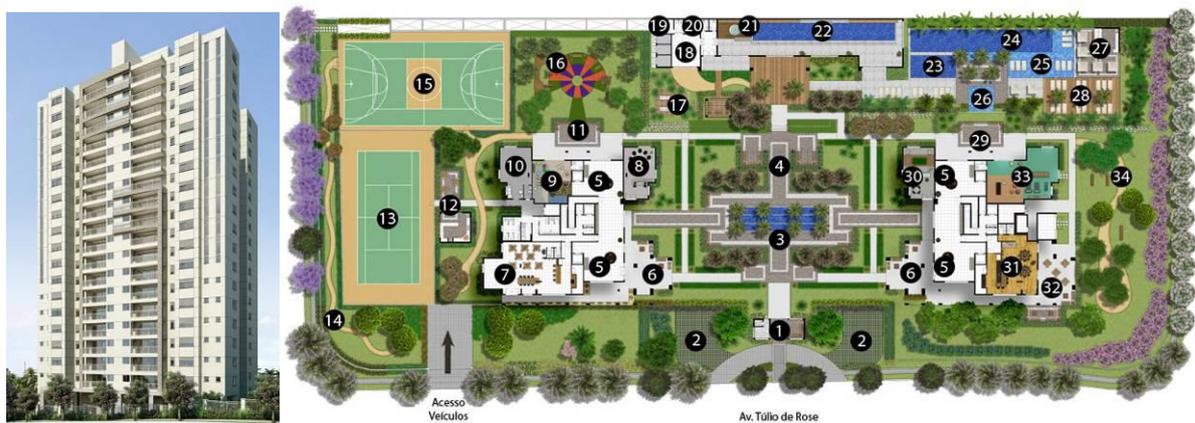


Figura 20: fachada e implantação do empreendimento L3. Fonte: empresa L.

O empreendimento compreendia de 144 unidades de apartamentos de 3 e 4 dormitórios com área privativa de 125m<sup>2</sup> e 146m<sup>2</sup> respectivamente, sendo ofertadas aos clientes diversas opções de planta, como mostra a Figura 21. A Figura 22 apresenta brevemente os principais materiais e técnicas construtivas adotadas no empreendimento.

A obra tinha prazo de duração estimado de 24 meses, com data de início dia 01 de junho de 2010, e término previsto para 30 de maio de 2012. Aproximadamente 90% da mão de obra é terceirizada, existindo mão de obra própria para execução da infraestrutura e demais atividades de serventes, como fornecimento de massas e outros insumos necessários aos terceirizados.

Apartamentos	
3 dormitórios (74 unidades)	4 dormitórios (70 unidades)
	
Área	
125 m² privativos e 212 m² área total	146 m² privativos e 249 m² de área total
Padrão	
1 suíte e <i>home theater</i>	2 suítes
Opcionais	
+ depósito e w.c. de serviço; + <i>living</i> estendido sacada integrada; + <i>living</i> estendido; 2 suítes com closet e <i>home theater</i>	+ gabinete; 3 suítes, <i>living</i> estendido, lareira e cozinha com copa; 3 dormitórios sendo 1 suíte master; 3 suítes e <i>living</i> estendido

Figura 21: apartamentos disponíveis no empreendimento L3.

Elemento Construtivo	Materiais/Técnicas Construtivas
Fundações	Estacas raiz e estacas escavadas
Paredes externas	Blocos cerâmicos
Paredes internas	Gesso Acartonado
Lajes	Concreto armado
Esquadrias	Janelas de alumínio e portas de madeira

Figura 22: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento L3.

#### 4.4.1.2 Descrição das Atividades Realizadas no Estudo Empírico 2

Para realização desse estudo, a pesquisadora se baseou em cinco entrevistas abertas com duração de uma hora e meia cada, as quais tiveram participação da pesquisadora, do diretor geral de engenharia, da engenheira do setor de planejamento, seu substituto durante o período de licença, do engenheiro de planejamento e da estagiária do setor, cada um deles em momentos diferentes do desenvolvimento do estudo. Além disso, houve três visitas ao canteiro de obra, nas quais a pesquisadora coletou projetos, documentos de planejamento, entre outros, e entrevistou a engenheira responsável pela obra.

### Avaliação do Plano de Longo Prazo do Empreendimento

O trabalho iniciou com a explicitação do plano de longo prazo do empreendimento por meio das ferramentas descritas por Schramm (2004) no desenvolvimento de PSP para EHIS - linha de balanço, diagrama de precedência, planilha de capacidade, histograma de recursos - e da modelagem BIM 4D. Essas ferramentas permitiram avaliar o plano inicial, explicitando os fluxos de trabalho nas torres, as diversas sequências de execução das unidades base (pavimentos), o uso de mão de obra e as dificuldades de fornecimento de material pelos equipamentos escolhidos para o empreendimento, verificados em observação participante em visitas ao canteiro de obras.

O modelo BIM 4D do empreendimento foi utilizado para comparar o plano de longo prazo inicial, com o executado e apontar visualmente as atividades que estavam adiantadas, no prazo ou atrasadas. Essa etapa foi realizada a pedido da engenheira de planejamento da empresa. As causas do atraso no empreendimento e sua necessidade de replanejamento foram levantadas por meio de entrevistas com a engenheira da obra e o engenheiro de planejamento.

### Replanejamento da produção (Médio Prazo)

Duas propostas de replanejamento foram elaboradas pela engenheira da obra e comunicadas ao setor de planejamento da empresa. A primeira alterava a sequência executiva, e a segunda, impactava o revestimento externo das fachadas. Então, estas propostas passaram por um estudo por meio de diagramas de precedência e modelo BIM 4D.

### Modelagem BIM 3D e 4D

Em paralelo aos estudos das decisões do PCP, foram coletados os projetos CAD 2D do empreendimento para que o mesmo pudesse ser modelado em 3D. Também foram coletados os equipamentos e instalações do canteiro. O empreendimento foi modelado em três níveis: unidade base (pavimento tipo), empreendimento (duas torres e demais áreas condominiais) e canteiro de obras (instalações e equipamentos de canteiro).

A Figura 23 sintetiza as atividades desenvolvidas nas etapas, técnicas e ferramentas utilizadas, as ações e fontes de evidência do estudo.

ETAPA	ATIVIDADE	AÇÕES/ FONTES DE EVIDÊNCIA
<b>AVALIAÇÃO DO PLANO DE LONGO PRAZO</b>	1 Reunião com a engenheira chefe do planejamento	- entrevista não estruturada para coleta de informações sobre o projeto; - identificação de potenciais aplicações da modelagem BIM 4D e das ferramentas de PSP; - identificação das principais barreiras organizacionais ao estudo.
	2 Reuniões com engenheira e engenheiro de planejamento e engenheira de obra	- coleta e análise de informações para elaboração da rede de precedência das atividades do plano; - elaboração do diagrama de precedência e LOB; - entrevista não estruturada para coleta de informações sobre equipes, produtividade, entre outras.
	2 Visitas ao canteiro de obra	- observação direta para coleta das áreas de trabalho, estoques, interferência dos equipamentos para compor o modelo 4D do empreendimento; - registro fotográfico do canteiro de obra.
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D (1ª vez)</b>	1 Reunião com estagiária de planejamento	- coleta de desenhos do empreendimento em CAD 2D; - coleta do plano de longo prazo (MSProject); - esclarecimento de aspectos do projeto para modelagem 4D.
	Modelagem 3D (AutoCAD Architecture)	- modelagem BIM 3D para compor o modelo BIM 4D.
	Modelagem 4D (Autodesk Navisworks Manage e MSProject)	- conexão do modelo BIM 3D às atividades do plano de longo prazo fornecido pela empresa (modelagem 4D).
<b>AVALIAÇÃO DO PLANO DE RECUPERAÇÃO DE PRAZO (MÉDIO PRAZO)</b>	1 Reunião com engenheira da obra	- entrevista não estruturada para coleta de informações sobre o embargo da obra e propostas de replanejamento;
	2 Reuniões com o engenheiro planejador substituto	- coleta do plano de replanejamento elaborado pelo setor de planejamento da empresa no MSProject.
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D (2ª vez)</b>	Modelagem 3D do canteiro de obra (SketchUp)	- modelagem 3D para compor o modelo BIM 4D com equipamentos e instalações do canteiro.
	Modelagem 4D (Autodesk Navisworks Manage e MS Project)	- modelagem BIM 4D da proposta de replanejamento elaborada pelo setor de planejamento em conjunto com a engenheira da obra.
<b>AVALIAÇÃO DO REPLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO (MÉDIO PRAZO)</b>	1 Reunião de apresentação do estudo do replanejamento (Modelo BIM 4D, LOB, diagramas, etc.)	- avaliação do modelo BIM 4D, linha de balanço e diagramas elaborados na avaliação do replanejamento simulado para engenheiro de planejamento;

Figura 23: atividades realizadas no estudo empírico 2.

#### 4.4.2 Estudo Empírico 3

O estudo 3 iniciou no mês de setembro e findou no mês de dezembro de 2011. Durante este período, apenas as atividades de terraplanagem estavam sendo executadas.

#### 4.4.2.1 Descrição da Empresa M

A empresa M foi criada em 2010 a partir da fusão de quatro empresas construtoras incorporadoras com sede em Porto Alegre. Além do Rio Grande do Sul, a empresa M está presente nos estados de Santa Catarina, Paraná e São Paulo.

Esta empresa atua em quatro segmentos: produtos na faixa de R\$ 150 mil (através do Programa Minha Casa, Minha Vida), condomínios verticais fechados (na faixa de R\$ 200 mil), condomínios horizontais fechados (na faixa de R\$ 300 mil) e em outros nichos de mercados, tais como imóveis de alto padrão e corporativos tipo Triple A.

Como a fusão das quatro empresas estava ainda em andamento, este estudo foi desenvolvido em uma obra de uma das quatro empresas do grupo. Esta está no mercado desde 1985, e tem seu sistema de qualidade certificado pelo SiAC - PBQP-H<sup>11</sup> nível A e pela ISO 9001/2000 desde 2008. Tem aproximadamente 150 funcionários próprios e 2000 terceirizados. Seu principal produto são obras residenciais, mas também incorpora obras de edificações comerciais.

#### 4.4.2.2 Descrição do Empreendimento M1

O empreendimento M1 é um condomínio fechado na cidade de Alvorada - RS, com 514 casas térreas e geminadas de 2 e 3 dormitórios. Existem 4 modelos de casas que estão localizadas em um terreno de aproximadamente 143m<sup>2</sup> (Figura 24). As casas são executadas em concreto armado autoadensável. A Figura 25 apresenta brevemente os principais materiais e técnicas construtivas utilizadas no empreendimento.

As áreas comuns incluem salão de festas, minicampo de futebol, piscina, *playground*, portaria central, quadra de vôlei de areia, quadra poliesportiva, quiosque com churrasqueiras e vagas de estacionamento para visitantes. A área do condomínio é de 136.535,95m<sup>2</sup>, a ser construída em 3 fases (Figura 26), tendo iniciado suas atividades no dia 24 de agosto de 2011.

---

<sup>11</sup> SiAC – Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas e Serviços e obras da Construção Civil. PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat. Fonte: <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/>



Figura 24: plantas e fachada das casas A, C, B1 e B2. Fonte: empresa M.

Elemento Construtivo	Materiais/Técnicas Construtivas
Fundações	<i>Radier</i>
Paredes	Concreto armado auto adensável
Cobertura	Telhas cerâmicas sobre estrutura metálica
Esquadrias	Janelas de alumínio e portas de madeira

Figura 25: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento M1.

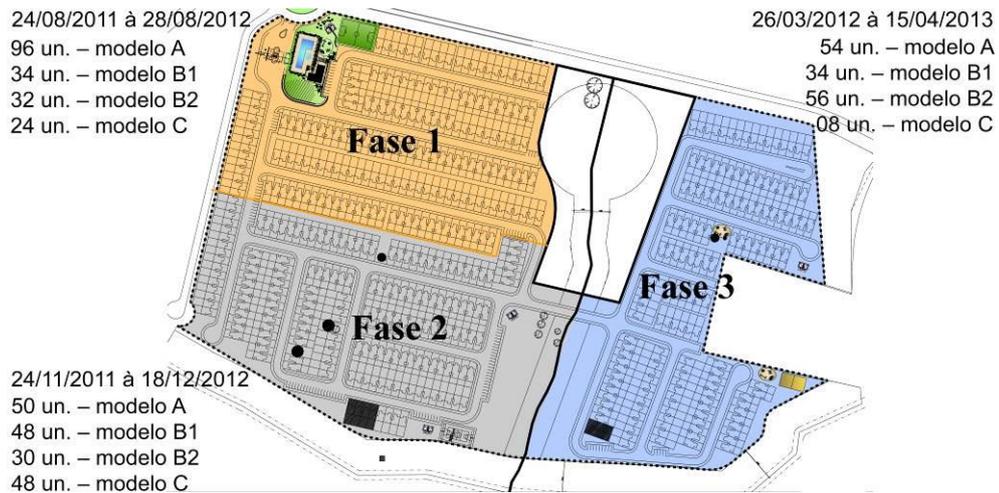


Figura 26: período de obra e quantidade de casas de cada fase de execução na implantação do empreendimento M1.

#### 4.4.2.3 Descrição das Atividades Realizadas

O estudo se desenvolveu em três etapas: (a) avaliação do plano de longo prazo do empreendimento; (b) avaliação de alternativas de planos; e (c) modelagem BIM 3D e 4D.

##### Avaliação do Plano de Longo Prazo do Empreendimento

Na avaliação do plano de longo prazo do empreendimento M1 utilizou-se algumas ferramentas propostas no PSP de Schramm (2004) – linha de balanço, diagrama de sequência das atividades e diagrama de precedência das atividades, além dos modelos BIM 4D, para explicitar decisões tomadas anteriormente à elaboração do plano e representar o plano de longo prazo elaborado pela empresa M de forma mais transparente. Para isso, foram coletados diversos dados, como projetos, planos, entre outros, com a engenheira de planejamento, o engenheiro responsável pela obra e a coordenadora de projetos. Em seguida, o plano de longo prazo foi analisado e discutido com a engenheira responsável pelo planejamento, engenheiro coordenador de produção e um dos diretores da empresa.

##### Avaliação de alternativas de planos

O emprego da visualização 4D e das demais ferramentas citadas anteriormente apontaram possíveis melhorias no plano de longo prazo. Em continuação ao estudo, o engenheiro coordenador de produção solicitou que fossem gerados quatro planos alternativos: um com proposições de pequenas melhorias em relação ao plano inicial, 2 planos com estratégias de ataques distintas e um quarto plano, variando o tamanho do lote de produção do processo de cobertura.

### Modelagem BIM 3D e 4D

Em paralelo às etapas anteriores foram coletados os projetos CAD 2D do empreendimento para que o mesmo pudesse ser modelado em BIM 3D e 4D. Também foram coletados dados sobre os equipamentos e instalações do canteiro de obras. O empreendimento foi modelado em três níveis: unidade base (casas geminadas), empreendimento (514 casas) e canteiro de obras (arruamento, áreas condominiais, instalações e equipamentos de canteiro).

A seguir, na Figura 27, estão as atividades desenvolvidas em cada etapa e as ações e fontes de evidências utilizadas no estudo.

ETAPA	ATIVIDADE	AÇÕES/ FONTES DE EVIDÊNCIAS
<b>AVALIAÇÃO DO PLANO DE LONGO PRAZO</b>	1 Reunião com diretores da empresa	- entrevista não estruturada para coletar informações sobre projetos; - identificar potenciais aplicações da modelagem BIM 4D e do PSP; - identificar as principais barreiras organizacionais ao estudo.
	1 Reunião com engenheiro de obra / 1 Reunião com engenheiro de obra do empreendimento semelhante anterior	- entrevista não estruturada para obter informações sobre a rede de precedência das atividades do plano. - elaboração diagrama de precedência e LOB
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D</b>	1 Reunião com coordenadora de projeto e planejadora	- coleta e análise de documentos de desenhos do empreendimento em CAD 2D; - coleta e análise de documentos do plano de longo prazo em MSPProject; - entrevista para esclarecer aspectos do projeto para modelagem 4D.
	Modelagem BIM 3D (SketchUp)	- modelagem BIM 3D para compor o modelo BIM 4D
<b>AVALIAÇÃO DO PLANO DE LONGO PRAZO</b>	Modelagem BIM 4D (Autodesk Navisworks Manage e MSPProject)	- conexão do modelo BIM 3D às atividades do plano de longo prazo fornecido pela empresa (modelagem BIM 4D).
	2 Visitas ao canteiro de obra	- observação direta das áreas de trabalho, estoques, interferência dos equipamentos para compor o modelo BIM 4D do empreendimento; - registro fotográfico do canteiro de obra.
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D</b>	Modelagem 3D do canteiro de obra (SketchUp)	- modelagem 3D para compor o modelo BIM 4D com equipamentos e instalações do canteiro.
<b>AVALIAÇÃO DOS PLANOS SIMULADOS</b>	Modelagem BIM 4D com novas informações (Autodesk Navisworks Manage e MSPProject)	- modelagem BIM 4D para avaliar as alternativas de planejamento baseada nas novas informações coletadas no canteiro de obras e com estratégias sugeridas pelo engenheiro de produção e pela engenheira de planejamento.
	3 Reuniões com engenheira de planejamento, diretor e engenheiro de produção para visualização dos planos simulados (Modelo 4D, LOB, diagramas, etc.)	- apresentação do modelo BIM 4D e demais ferramentas para auxiliar na visualização dos planos simulados; - entrevista não estruturada em grupo para avaliação dos constructos utilidade e facilidade de uso.

Figura 27: atividades realizadas no estudo empírico 3.

### 4.4.3 Estudo Empírico 4

O estudo empírico 4 aconteceu nos meses de novembro e dezembro de 2011, período em que a obra estava iniciando a etapa de escavações. O foco do estudo foi na definição de opções de estratégias de ataques de acordo com a demanda por apartamentos, baseado na velocidade das vendas dos dois primeiros blocos do empreendimento. Isso implicou também na escolha dos equipamentos de transporte vertical de materiais e suas distintas localizações mediante as diferentes estratégias de ataque.

#### 4.4.3.1 Descrição da Empresa N

A empresa N é uma empresa construtora e incorporadora de pequeno porte, que está no mercado imobiliário desde 1980. Tem sede na cidade de Canoas - RS e possui certificação SiAC - PBQP-H, nível A desde 2003, e ISO-9001/2000 desde dezembro de 2004. Até o momento, efetuou 150.729,33 m<sup>2</sup> de área construída por toda a região metropolitana de Porto Alegre/RS.

#### 4.4.3.2 Descrição do Empreendimento N1

O empreendimento N1 situa-se na cidade de Canoas e é composto por nove torres de oito pavimentos, com seis apartamentos de dois dormitórios em cada andar (Figura 29). Existem dois modelos de plantas, com área de 55m<sup>2</sup> e 52m<sup>2</sup>, todas com varanda. Além disso, o empreendimento conta com guarita, salão de festas, quadra poliesportiva, *playground* e estacionamento privativo. É financiado pela Caixa Econômica Federal (CEF), e cada torre tem prazo de entrega de 24 meses.

A Figura 28 apresenta resumidamente os principais materiais e técnicas construtivas utilizadas no empreendimento.

<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Materiais/Técnicas Construtivas</b>
Fundações	Estaca escavada
Paredes	Blocos de alvenaria estrutural
Lajes	Concreto armado
Cobertura	Telhas cerâmicas sobre estrutura metálica
Esquadrias	Janelas de alumínio e portas de madeira

Figura 28: quadro resumo dos principais materiais e técnicas construtivas do empreendimento N1.



Figura 29: Implantação do empreendimento N1, perspectiva da entrada do empreendimento e planta do pavimento tipo, com os dois modelos de apartamento de 2 dormitórios. Fonte: Empresa N.

#### 4.4.3.3 Descrição das Atividades Realizadas

As principais atividades deste estudo contemplaram a elaboração do PSP do empreendimento utilizando diversas ferramentas, inclusive, a modelagem 4D. Foram diversas reuniões com engenheiro de obra, de produção e diretor da empresa para decidir, mediante diversas simulações das estratégias de ataque, quais equipamentos a serem utilizados no empreendimento, os lotes de produção e transferência e os fluxos de trabalho (vide Figura 30).

#### Elaboração do Projeto do Sistema de Produção

As decisões do PSP foram tomadas com auxílio da visualização 4D, da linha de balanço, e com base em informações de custo de equipamentos de transporte e de disponibilidade de recursos, tais como mão de obra. Todas as etapas de decisão do modelo de PSP de Schramm (2009) foram contempladas neste estudo, sendo realizadas análises mais detalhadas nos processos de fundação, laje e alvenaria estrutural, considerados como críticos, e na escolha e localização dos equipamentos de transporte vertical.

A visualização 4D dos cenários simulados foram apresentadas nas reuniões de PSP na empresa e na obra. Nestas reuniões foi possível identificar interferências, sendo discutidas as dificuldades para fornecimento de materiais para pavimentos e outros tópicos de informações.

### Modelagem 3D e 4D

Nesta etapa, a pesquisadora modelou em 3D e 4D o empreendimento e os possíveis equipamentos de transporte vertical, como também os estoques referentes ao processos críticos. Foram modelados em 4D cinco planos de longo prazo com estratégias de ataque para que o empreendimento atendessem a cinco diferentes cenários de vendas de apartamentos possíveis: pessimista, otimista, realista, misto 1 e 2.

O produto final deste estudo foi a proposição de um método de modelagem 4D para o projeto do sistema de produção, usando como ponto de partida o método proposto e refinado ao longo dos estudos anteriores.

As atividades desenvolvidas neste estudo estão resumidas na Figura 30.

ETAPA	ATIVIDADE	AÇÕES/ FONTES DE EVIDÊNCIAS
<b>ELABORAÇÃO DO PSP</b>	1 Reunião com diretor da empresa e engenheiro de produção	- entrevista não estruturada para obter informações sobre projeto; identificar potenciais aplicações da modelagem 4D e do PSP; identificar as principais barreiras organizacionais ao estudo.
	2 Reuniões com diretor da empresa, engenheiro de produção, engenheiro da obra e coordenadora de projetos	- coleta e análise de desenhos do empreendimento em CAD 2D; - coleta e análise dos esboços da rede de precedência do bloco do empreendimento; - entrevista não estruturada para esclarecer aspectos do projeto para modelagem 4D. - elaboração da LOB
<b>MODELAGEM BIM 3D E 4D</b>	Modelagem BIM 3D (AutoCAD Architecture)	- modelagem BIM 3D para compor o modelo BIM 4D.
	Modelagem BIM 4D (Autodesk Navisworks Manage e MS Project)	- transferência das datas das atividades da LOB para arquivo MSProject; - conexão do modelo BIM 3D às atividades do plano de longo prazo do MSProject.
	Modelagem 3D do canteiro de obra (SketchUp)	- modelagem 3D para compor o modelo 4D com equipamentos e instalações do canteiro.
	Modelagem BIM 4D com opções de plano de ataque (Autodesk Navisworks Manage e MS Project)	- elaboração de alternativas de planos baseadas nos primeiros conflitos espaciais vistos pelo plano original; - modelagem BIM 4D de alternativas de planos.
<b>ELABORAÇÃO DO PSP</b>	2 Reuniões para tomada de decisão do plano de ataque e equipamentos de transporte vertical (Autodesk Navisworks Manage e MS Project)	- apresentação do modelo BIM 4D e demais ferramentas para auxiliar na tomada de decisão; - entrevista não estruturada para avaliação dos constructos utilidade e facilidade de uso.

Figura 30: Atividades realizadas no estudo empírico 4.

## 4.5 FASE DE CONSOLIDAÇÃO

A fase de consolidação da pesquisa ocorreu entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2012. Nessa etapa, os dados gerados nos estudos foram reunidos e comparados visando propor a versão final do método, considerando as contribuições dos quatro estudos. Por se tratar de uma pesquisa construtiva, o artefato gerado necessitou ser avaliado. A avaliação do método de gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D proposto foi feita por dois constructos definidos: utilidade e facilidade de uso.

Com relação à utilidade do método (Figura 31), entende-se que esse pode ser considerado útil se houver melhoria no processo de tomada de decisão pelo emprego da modelagem BIM 4D. Esta melhoria pode ser advinda do aumento da comunicação e entendimento das decisões entre os participantes, da utilização das informações provenientes da modelagem BIM 4D na tomada de decisão e na integração das informações para a tomada de decisão.

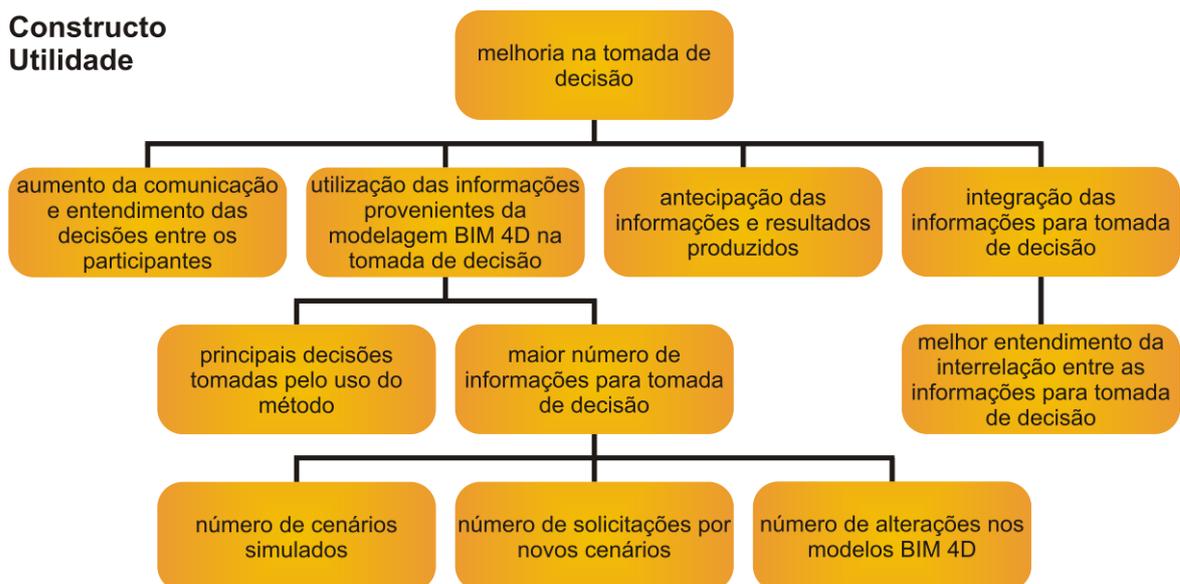


Figura 31: desdobramento do constructo utilidade.

A utilização de informações provenientes da modelagem BIM 4D pode ser analisada pelas principais decisões que são tomadas pelo uso do método e também pelo maior número de informações que são geradas para tomada de decisão. Foram usadas variáveis para evidenciar o grau de utilização destas informações, tais como o número de cenários simulados, o número de solicitações por novos cenários e o número de alterações nos modelos BIM 4D, as quais indicam o interesse dos participantes na modelagem. Além disso, é importante verificar se foi possível antecipar informações e quais os resultados produzidos por isso.

Em relação à integração das informações para tomada de decisão, se procurou verificar se houve um melhor entendimento da inter-relação entre as informações para tomada de decisão. Ou seja, analisou-se o quanto a modelagem contribuiu para uma melhor tomada de decisão integrada, tendo em vista que é inerente à construção civil o elevado grau de inter-relação entre processos.

Já sobre a facilidade de uso do método (Figura 32), foi analisada a participação das pessoas no processo de modelagem BIM 4D, a transparência das informações no processo e a eficiência do método de modelagem BIM 4D.

**Constructo  
Facilidade de uso**

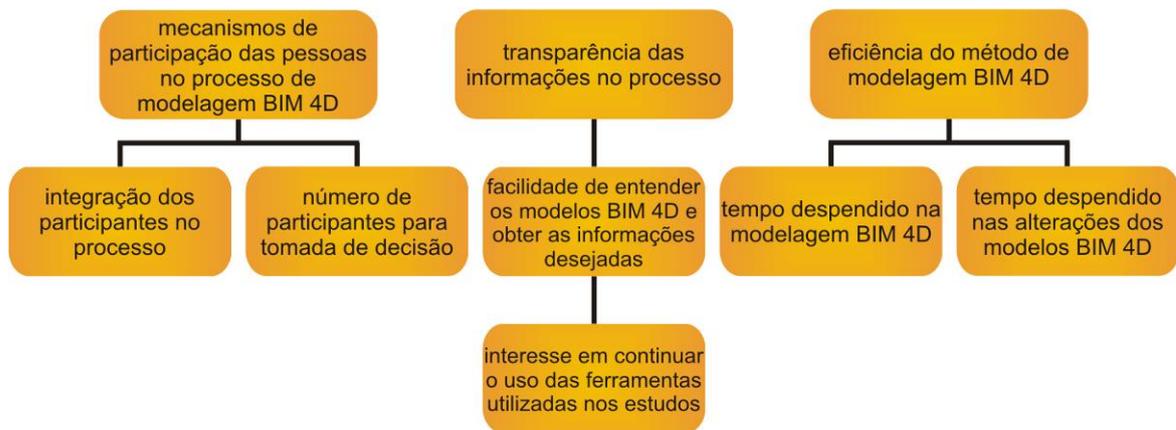


Figura 32: desdobramento do constructo facilidade de uso.

Em relação aos mecanismos de participação das pessoas no processo de modelagem, esse está vinculado ao modo como a pesquisadora conduziu a pesquisa. Como todas as modelagens foram executadas pela pesquisadora, foi possível analisar a integração dos participantes no processo e o número de participantes apenas nas reuniões para tomada de decisão.

No caso da transparência das informações nos processos, investigou-se a facilidade de entendimento dos modelos e de obter as informações desejadas. Esta facilidade pode ser percebida pelo interesse dos participantes em continuar o uso das ferramentas utilizadas sem a interferência da pesquisadora. Além de ser decorrente da utilidade, também pode ser percebido pela facilidade de uso do modelo.

Quanto à eficiência do método de modelagem, observou-se o tempo despendido na modelagem e o tempo despendido nas alterações dos modelos.

## 4.6 FONTES DE EVIDÊNCIAS

Nos itens seguintes são descritas as fontes de evidência utilizadas nessa pesquisa.

### 4.6.1 Entrevistas

É uma das mais importantes fontes de informação nos estudos de caso (YIN, 2003). Conforme o referido autor, a entrevista serve para guiar as conversas através de perguntas estruturadas ou abertas e permite ao pesquisador inferir sobre os dados registrados segundo a percepção dos entrevistados. As entrevistas estruturadas devem ser focadas, rápidas, com questões devidamente elaboradas e testadas antes da aplicação final (YIN, 2003). Segundo Marconi e Lakatos (2008), esse tipo de entrevista é realizada com auxílio de um formulário e efetuada com pessoas selecionadas de acordo com um plano. As entrevistas realizadas neste trabalho estão no quadro da Figura 33.

	<b>Assunto</b>	<b>Respondentes</b>	<b>Estudos Aplicados</b>
<b>Entrevista estruturada</b>	Formulário de caracterização da empresa	Diretor	EE1, EE 2, EE 3 e EE 4
	Formulário de caracterização da obra	Engenheiros de obras	
	IBPPCP (RECK, 2010)	Engenheiros de obras	EE 1
<b>Entrevista semiestruturada</b>	Elaboração do DFD (BERNARDES, 2001; AKKARI, 2003)	Engenheiros de obras, engenheiro de planejamento, engenheiro coordenador da produção, engenheiro coordenador de projetos	EE1
<b>Entrevista aberta</b>	Apresentação da pesquisadora, análise do sistema de produção, necessidades da visualização 4D.  Verificação dos constructos utilidade e facilidade de uso	Diretor empresa	EE 3 e EE 4
		Engenheiro de obra	EE1, EE 2, EE 3 e EE 4
		Engenheiro de planejamento	EE1, EE 2, EE 3 e EE 4
		Engenheiro de produção	EE3 e EE4

Figura 33: quadro-resumo dos tipos de entrevista em cada estudo e as pessoas entrevistadas.

Como entrevista estruturada, em cada estudo foi utilizado os formulários de caracterização da empresa e da obra para se obter um conhecimento geral de ambas. O roteiro do IBPPCP de

Reck (2010), o qual também compreende uma análise documental dos planos e observação sistemática das informações divulgadas em obra, foi aplicado para se conhecer quais as práticas do PCP na empresa dos estudos empíricos 1 e 2.

Também foram realizadas entrevistas semiestruturadas, cujo roteiro foi adaptado de Bernardes (2001) e Akkari (2003) para a elaboração do Diagrama de Fluxo de Dados (DFD), utilizado para descrever o processo do PCP na empresa dos estudos 1 e 2.

O DFD é uma ferramenta para modelagem do fluxo de informações e representa uma visão mais ampla das entradas e saídas de um sistema, além de seus processos. Ela não representa aspectos físicos do sistema, e como afirmam Martin e McClure (1991), o DFD é “uma representação em rede dos processos (funções ou procedimentos) de um sistema e dos dados que ligam estes processos. Mostra o que um sistema/procedimento faz, mas não como faz. É a principal ferramenta de modelagem da análise estruturada e é utilizada para dividir o sistema em uma hierarquia de processos”.

As entrevistas abertas tiveram diversas funções nesta pesquisa. No início dos estudos, elas ocorreram em reuniões de apresentação para se conhecer os envolvidos das empresas na pesquisa. No estudo empírico 1, elas visaram a diagnosticar o processo de elaboração do PCP. No estudo empírico 2 e 3, foram utilizadas para analisar o sistema de produção do empreendimento. No estudo empírico 4, as entrevistas foram essenciais para se entender as necessidades da empresa segundo os participantes do estudo, e foram fontes de informação para elaboração do PSP. As últimas entrevistas desta pesquisa buscaram obter dos participantes dos estudos diversas respostas para avaliação do método desenvolvido. Foi questionado a melhoria na comunicação, compreensão das decisões e suas inter-relações e a intenção de uso futuro das ferramentas utilizadas nos estudos em outros empreendimentos.

#### 4.6.2 Observação Participante

A observação participante, segundo Yin (2003), é um modo especial de observação, no qual, o pesquisador não é um mero observador passivo, mas assume uma variedade de papéis dentro do estudo de caso e pode participar dos eventos estudados (YIN, 2003).

Essa fonte de evidência foi utilizada nas reuniões de planejamento de curto prazo, de elaboração do PSP e demais visitas aos escritórios de engenharia nas obras. Nestas reuniões, modelos BIM 4D eram utilizados para analisar o plano ou para tomar decisões sobre o PCP

ou PSP. Nestas oportunidades, eram também avaliados alguns constructos, como: (a) utilidade – aumento da comunicação e entendimento das decisões entre participantes; antecipação das informações e resultados produzidos; melhor entendimento da inter-relação entre as informações para tomada de decisão; e, (b) facilidade de uso - integração dos participantes no processo.

#### 4.6.3 Observação Direta e Registro Fotográfico

A observação direta pode ser utilizada em estudos de caso para analisar alguns comportamentos relevantes ou condições ambientais (YIN, 2003). Segundo o mesmo autor, as observações diretas podem ser realizadas informalmente, ou de forma sistemática, através do uso de protocolos observacionais. Este tipo de evidência é normalmente útil em prover informações adicionais sobre o tema de estudo.

No estudo empírico 1, essa fonte de evidência foi utilizada na realização do IBPPCP (RECK, 2010) para avaliar as informações que eram divulgadas aos participantes do PCP e sua transparência. Além disso, a observação direta e o registro fotográfico foram utilizados durante a realização de: (a) reuniões com os participantes, para contagem do número dos mesmos na tomada de decisão na avaliação do constructo facilidade de uso; e, (b) de visitas às obras dos demais estudos, em geral, para coletar informações de leiaute de canteiro, arranjo físico dos equipamentos e estoques, complementando os dados obtidos em entrevistas e nas análises de documentos.

#### 4.6.4 Análise de documentos

O uso mais importante de documentos é em corroborar e aumentar as evidências provenientes de outras fontes (YIN, 2003). Para análise do sistema de produção dos empreendimentos, fez-se necessário a análise de documentos digitais dos planos de longo prazo das empresas. Outros documentos, como planilhas de planos de curto e de médio prazos, entre outros, foram fontes de evidência para o diagnóstico do PCP nas empresas. Já os principais documentos utilizados na produção dos modelos 4D foram os arquivos digitais de planos de longo prazo elaborados, plantas em CAD 2D elaborados pelas empresas, entre outros.

## 5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo são descritos os resultados de cada um dos estudos desenvolvidos na pesquisa. Ao final, são reunidos os dados dos diferentes estudos e analisados os mesmos de acordo com o conjunto de constructos definidos no Capítulo 4.

### 5.1 ESTUDO EMPÍRICO 1

Neste estudo se realizou um diagnóstico do processo de planejamento e controle da produção na empresa L, seguido da avaliação do plano de longo prazo do empreendimento L2, que incluiu a modelagem BIM 4D. A partir deste primeiro estudo, foi proposto um modelo do processo de modelagem BIM 4D.

#### 5.1.1 Diagnóstico do processo de Planejamento e Controle da Produção

Os empreendimentos da empresa L passam por seis grandes etapas desde a pesquisa por terrenos até a entrega do apartamento ao cliente. Essas etapas são: viabilidade, orçamento, planejamento, projeto, pré-obra e obra, e estão descritas suas principais ações na Figura 34.

<b>As etapas de um empreendimento</b>	
Viabilidade	Avalia o terreno, realiza pesquisa de mercado, solicita contrato e define o orçamento prévio do custo de construção inicial.
Orçamento	Recebe os projetos do setor de Projeto via extranet, recebe orçamento prévio da Viabilidade via intranet e elabora o orçamento parametrizado.
Planejamento	Recebe o orçamento aprovado pela diretoria via intranet e elabora o plano de longo prazo do empreendimento baseado nos projetos recebidos via extranet. Determina a curva de percentual físico e financeiro da obra, bem como as metas dos indicadores de produção, como índice de desvios de prazo e custo, PPC, PPS, volume de lixo gerado, desembolso, entre outros.
Projeto	Elabora e/ou contrata projetos. Envia anteprojetos ao setor de orçamento. Compatibiliza os projetos, em seguida, os envia para produção.
Pré-obra	Recebe os projetos via extranet e o plano de longo prazo da fase de pré-obra do setor de planejamento. Executa toda a infraestrutura do canteiro até o contrapiso das edificações e envia os indicadores para o setor de planejamento.
Obra	Recebe a obra no contrapiso, os projetos, o plano de longo prazo e envia os indicadores para o setor de planejamento.

Figura 34: etapas de um empreendimento na empresa L.

O processo de planejamento e controle da produção da empresa L, especificamente, contempla as etapas descritas de planejamento, pré-obra e obra, descritas acima. O processo se inicia no departamento de planejamento, o qual elabora um plano de longo prazo baseado

no orçamento e nos projetos disponíveis e define as metas mensais do empreendimento. Em seguida, ao início da fase de pré-obra e obra, o plano é enviado para o engenheiro de obra responsável, que executa os planejamentos de médio e curto prazo, esse último com a presença do mestre de obras e encarregados. Os fluxos de informações que ocorrem durante o processo de planejamento e controle da produção estão retratados no DFD (diagrama de fluxo de dados) da Figura 35, cuja elaboração ocorreu após entrevista com os participantes do estudo e análise de um mapofluxograma de gestão anexado ao manual da qualidade da empresa.

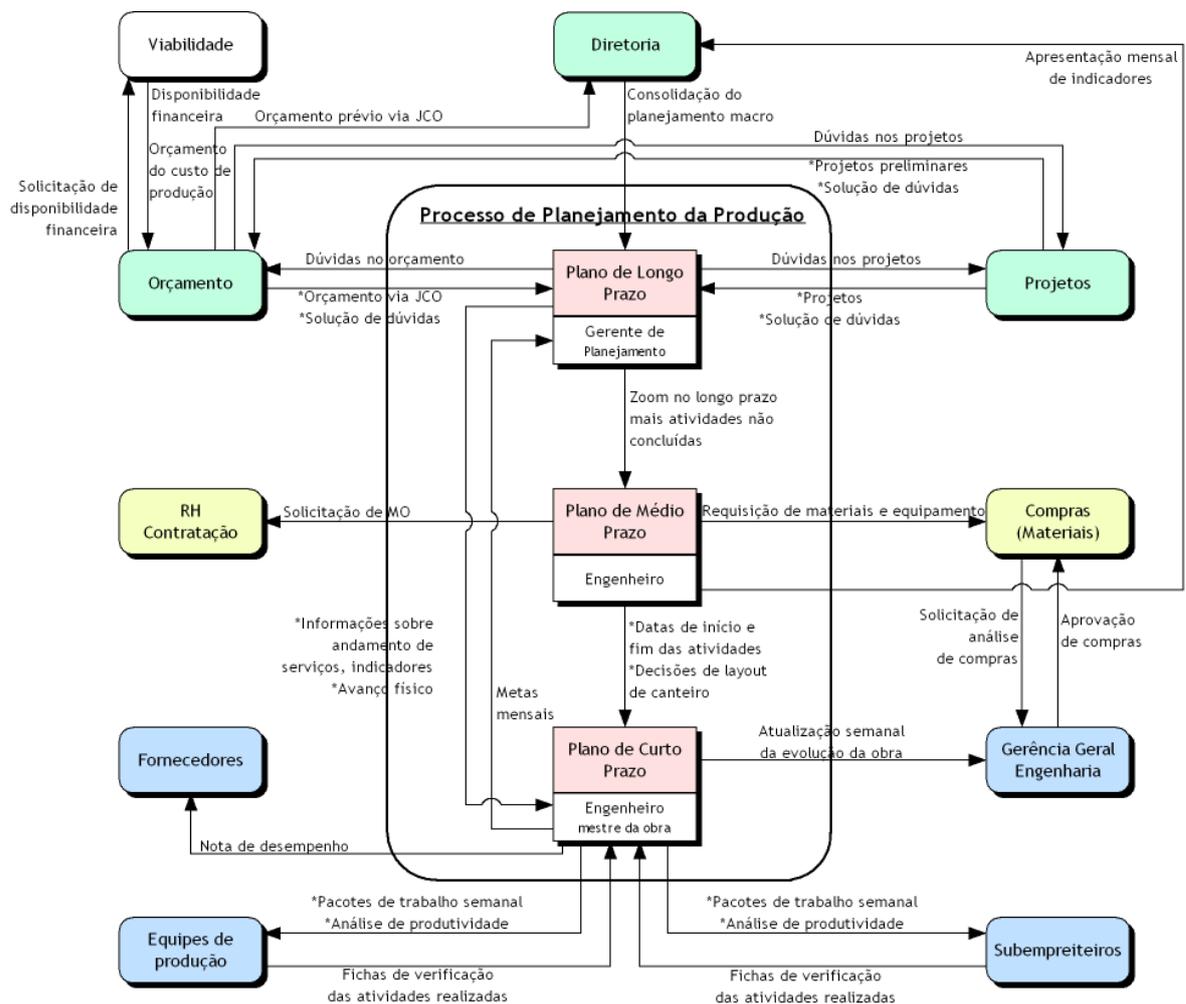


Figura 35: DFD do processo de PCP na empresa L.

Dentre as diversas funções apresentadas, são tomadas decisões que dizem respeito à estratégia de produção. Por exemplo, a diretoria de engenharia tomou decisões a respeito da tecnologia construtiva e a integração vertical de mão de obra, no caso, 22% de mão de obra terceirizada. O setor de planejamento também decidiu pela tecnologia construtiva de alvenaria estrutural e lajes pré-moldadas utilizados nos blocos de apartamentos.

O setor de planejamento envolvia-se diretamente em algumas decisões referentes ao PSP da obra, tais como a sequência de execução das atividades nas unidades base (pavimento) e no empreendimento, o dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, a escolha dos equipamentos de transporte, as instalações de segurança, a estratégia de ataque do empreendimento e a definição dos principais fluxos de trabalho. Cabia ao engenheiro da obra, solicitar a contratação de mão de obra e materiais classe C1 e C2, e compras de recursos classe C3.

Apesar de não ser um processo formalizado na empresa, as decisões do projeto do sistema de produção eram tomadas pelos diferentes setores de maneira desconexa, sem existir uma análise sistemática sobre o impacto dessas decisões nas demais áreas. Isso ocasionou, ao longo da execução do empreendimento, algumas incompatibilidades, como por exemplo, a estratégia de ataque do empreendimento e a escolha das instalações de segurança não permitiram acesso adequado do equipamento de transporte vertical aos blocos, fato esse, observado no próprio canteiro de obras e relatado pelo engenheiro da obra.

A principal ferramenta utilizada pela empresa L para o planejamento e controle da execução dos empreendimentos é o MSProject. Essa ferramenta é baseada no Método do Caminho Crítico (CPM), que não permite visualizar facilmente os fluxos de trabalho do empreendimento. O plano de longo prazo elaborado com a mesma é altamente detalhado, tendo normalmente mais de 1500 atividades, o que demandava muitas horas de trabalho por parte dos engenheiros responsáveis pela obra para atualização dos planos, conforme relato dos funcionários do escritório da obra. Além disso, o plano gerado tem um caráter determinístico em relação à duração das atividades, as quais foram definidas com base em índices de produtividade levantados em empreendimentos anteriores.

Outra característica encontrada no PCP da empresa, em relação ao empreendimento L2, é a ausência do planejamento de médio prazo formal. Esse planejamento é de responsabilidade do engenheiro de obra e nele são removidas apenas restrições de materiais e mão de obra, mais especificamente, apenas recursos classe 1, e as datas para remoção dessas restrições são extraídas do plano de longo prazo apenas no início da obra.

### 5.1.2 Avaliação do plano de longo prazo

Para a avaliação do plano de longo prazo do empreendimento L2 e a modelagem BIM 4D, a pesquisadora coletou informações em reuniões com o engenheiro de obra, que forneceu o

plano de longo prazo, as planilhas de curto prazo, os indicadores de PPC, arquivos CAD 2D das plantas do empreendimento, entre outras informações.

A primeira avaliação do plano envolveu a elaboração de uma linha de balanço, na qual foram explicitados os fluxos de trabalho referentes aos processos considerados críticos. A partir desta ferramenta, foram detectados alguns problemas, tais como a grande incidência de trabalho em progresso entre algumas atividades, o início de algumas atividades sem a conclusão da antecessora e a intercepção de atividades (Figura 36). Observou-se também, diferenças na duração de processos semelhantes, como o de fundação e alvenaria estrutural. Além disso, havia problemas no dimensionamento de capacidade de algumas equipes. Por exemplo, na estratégia de ataque dos blocos de apartamentos, 6 torres (das 12 a serem executadas) deveriam ter sua fundação executada simultaneamente, mas, devido à carência de equipes no empreendimento, não era possível seguir este plano de ataque.

A partir da linha de balanço foi gerado o histograma de equipes na obra (Figura 36). Pôde-se observar que havia dois picos de mobilizações de equipes, uma no início e outro no meio do empreendimento. Conseqüentemente, havia dois períodos de acentuada desmobilização de mão de obra, apresentando vale de apenas 3 equipes em obra para efetuar a atividade de revestimento e pico de 18 equipes para realizar a atividade de pintura.

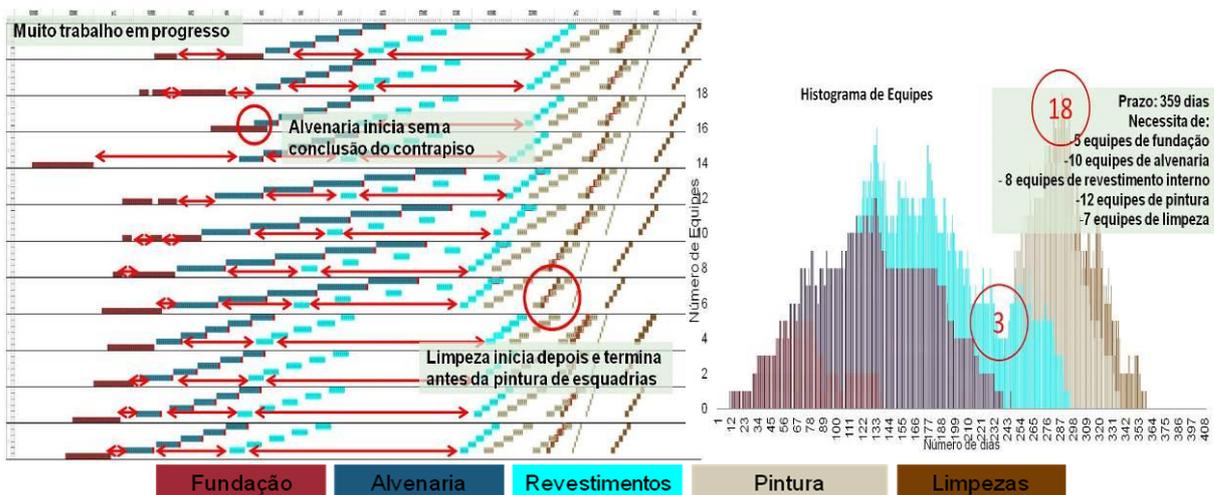


Figura 36: Análises (em vermelho) sobre LOB e histograma de equipes do empreendimento L2.

O modelo BIM 4D, por sua vez, também permitiu a visualização da estratégia de ataque do empreendimento. Através desta visualização, ficou evidente que a elaboração do plano de longo prazo não levou em conta a disponibilidade de equipamentos de transporte vertical e de

mão de obra para executar as atividades em diversas torres. De fato, observou-se o espalhamento de serviços por todo o canteiro de obra, como se verifica na Figura 37, o que tende a aumentar o trabalho em progresso e atividades de fluxo.

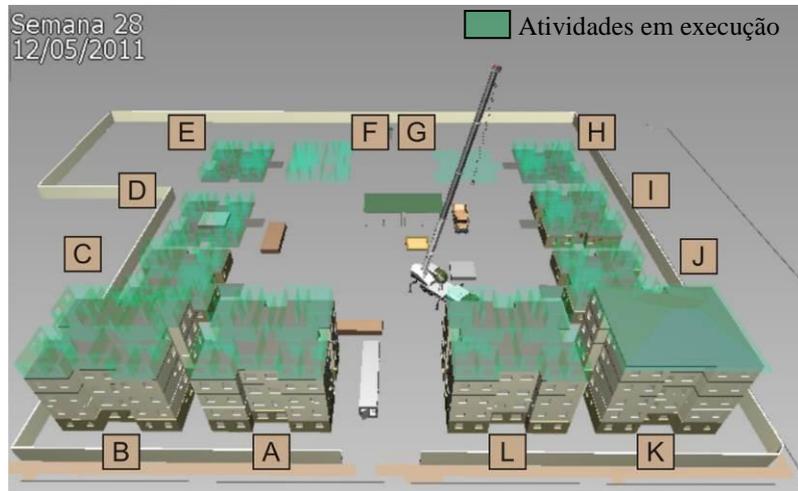


Figura 37: imagem exportada do modelo BIM 4D do plano de longo prazo do empreendimento L2.

No modelo BIM 4D também foi possível observar alguns conflitos espaciais vivenciados no canteiro de obra, como entre equipamentos e instalações, estoques e equipamentos, entre outros, que ocorreram pela falta de planejamento integrado da construção das torres com as instalações de segurança e de equipamentos de transporte vertical. Um exemplo desses conflitos, apresentado na Figura 38, aconteceu entre o manipulador telescópico e a bandeja de segurança do pavimento, forçando os operários a retirar as argamassas do manipulador telescópico que tinha sua haste posicionada há mais de um metro de altura em relação ao piso do pavimento, devido à sua impossibilidade de acesso provocada pela bandeja de segurança sem abertura para recebimento de material naquele local do pavimento.



Figura 38: fotos da subutilização do manipulador telescópico para fornecer materiais aos pavimentos.

Foram detectados outros dois conflitos, ilustrados na Figura 39:

- a) atrasos na execução das alvenarias estruturais, que fizeram com que uma pilha de lajes pré-moldadas permanecesse estocada em frente à torre A, impedindo o acesso do manipulador telescópico e do caminhão guindaste à torre B;
- b) estratégia de ataque das torres de apartamentos inadequada, pois a distância entre as torres não era grande o suficiente para que o manipulador telescópico pudesse manobrar e alimentar os pavimentos com materiais, tais como blocos cerâmicos e sacos de argamassa.

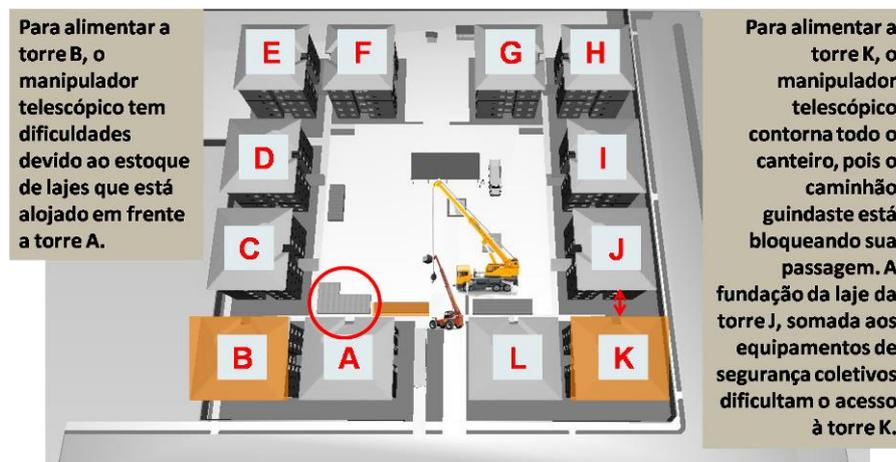


Figura 39: *frame* do modelo BIM 4D para analisar os problemas de fluxo físico no empreendimento L2.

Em uma modelagem BIM 4D mais focada, a pesquisadora experimentou animar os equipamentos de transporte vertical. Para isso, fez-se o uso do *Animator* no Autodesk Navisworks Manage e traçou-se um caminho pelo canteiro para o manipulador percorrer por meio de interpolação de cenas. Também foi animada a haste telescópica do guindaste que rotacionou em alguns graus para simular o fornecimento de materiais aos pavimentos e sua área de influência, como mostra a Figura 40.

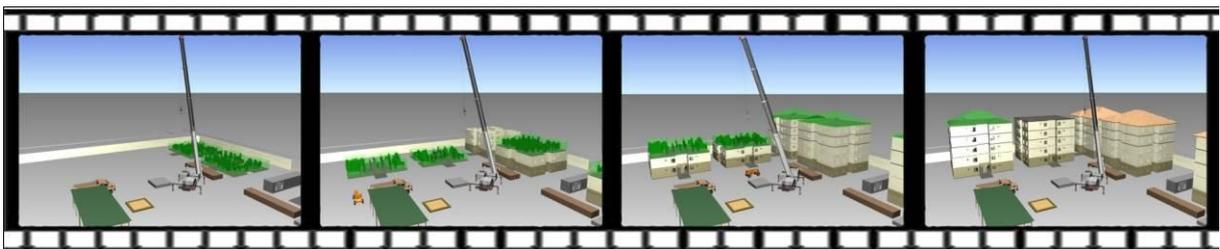


Figura 40: Movimentação dos equipamentos no canteiro do empreendimento L2.

Entretanto, a animação da movimentação dos equipamentos, que acontece em uma escala temporal de minutos, foi utilizada para visualização da construção dos blocos, cuja escala temporal está em meses. Assim, os equipamentos se locomoveram rapidamente para os olhos dos visualizadores, marcando a trajetória dos mesmos pelo canteiro.

Em seguida, a pesquisadora iniciou a simulação de dois diferentes cenários do plano de longo prazo, partindo da linha de balanço e do histograma de recursos. A primeira simulação buscou evitar os problemas de abastecimento dos blocos de apartamentos de esquina (B, E, H e K). Por isto, os mesmos seriam construídos anteriormente aos blocos centrais (C, D, I, J) para que a movimentação dos equipamentos de transporte ocorresse sem interrupções de acesso. Na Figura 41, observa-se no modelo BIM 4D que quando as coberturas dos blocos H e K estão finalizadas é que se iniciam a execução das lajes do contrapiso dos blocos I e J.

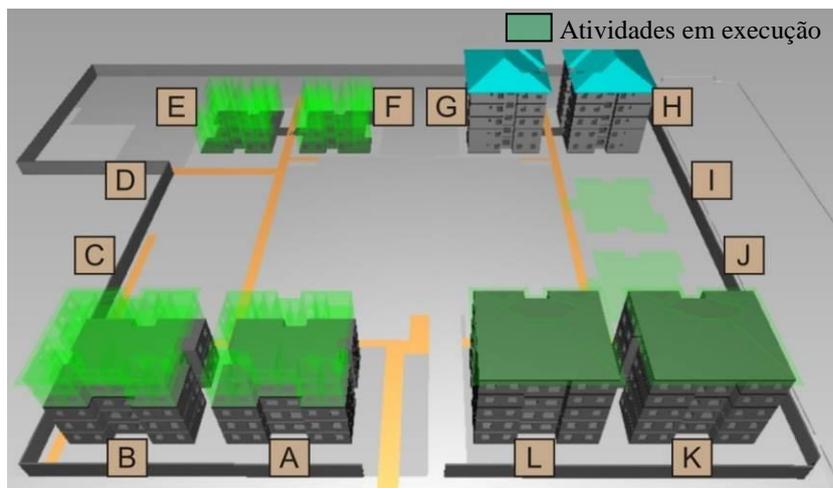


Figura 41: imagem exportada do modelo BIM 4D da simulação 1.

Na simulação 1, propôs-se utilizar apenas 2 equipes para fundações, número esse disponível em obra na época do estudo. Assim, com duas frentes de ataque, buscou-se eliminar o trabalho em progresso ao sincronizar os ritmos de produção das atividades. Para isso, seriam necessárias 4 equipes de alvenaria, de revestimento, pintura, e 2 de limpeza. Também se procurou tornar o fluxo ininterrupto das equipes e utilizá-las na execução dos diversos blocos.

Para que o caminhão guindaste se dedicasse exclusivamente ao içamento de lajes pré-moldadas de somente um bloco por dia, a segunda equipe de fundação iniciaria o serviço um dia após a primeira equipe (Figura 42). Essa diferença de um dia entre uma equipe e outra se repetiria por todos os serviços consecutivos, desafogando o uso do único recurso de transporte vertical das lajes pré-moldadas.

A partir da LOB, foi gerado um histograma de equipes (Figura 42), no qual há apenas um grande período de mobilização e outro de desmobilização das mesmas. O número de equipes presentes no canteiro no dia 28/02/2011 foi utilizado como base para programar as atividades da linha de balanço.

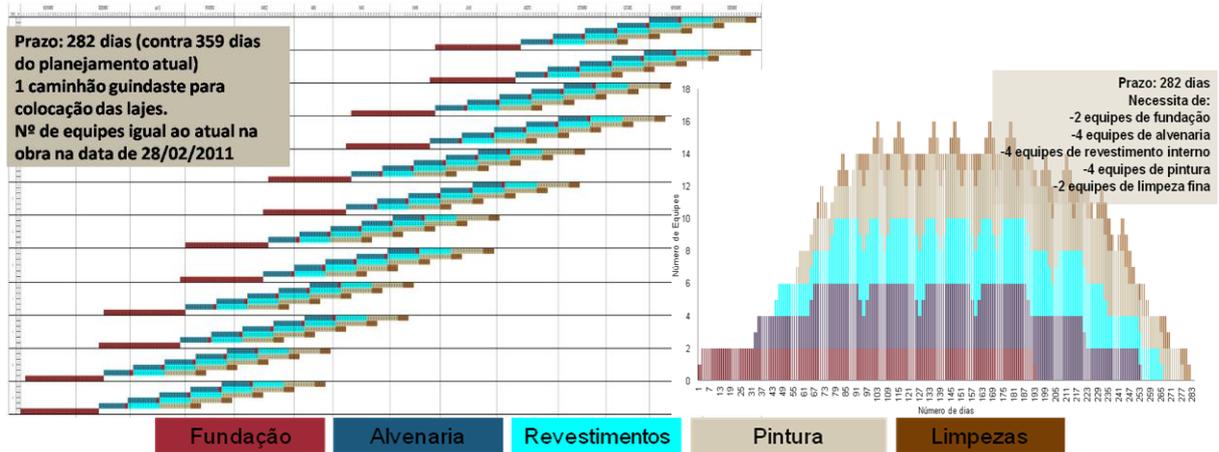


Figura 42: plano de longo prazo realizado pela técnica da LOB e histograma de equipes da simulação 1 do empreendimento L2.

Uma segunda simulação na LOB foi realizada para verificar como seria o fluxo de trabalho caso se dobrasse o número de trabalhadores na execução do empreendimento, como mostra o histograma da Figura 43. Constatou-se que, apesar de diminuir o prazo da obra, ela seria inviável se realizada com os mesmos equipamentos de transporte de materiais disponíveis no empreendimento, pois, ao se acelerar a obra, os blocos construídos (C, D, I, J) acabariam bloqueando a passagem do manipulador telescópico até os blocos E, H, K, B - Figura 44.

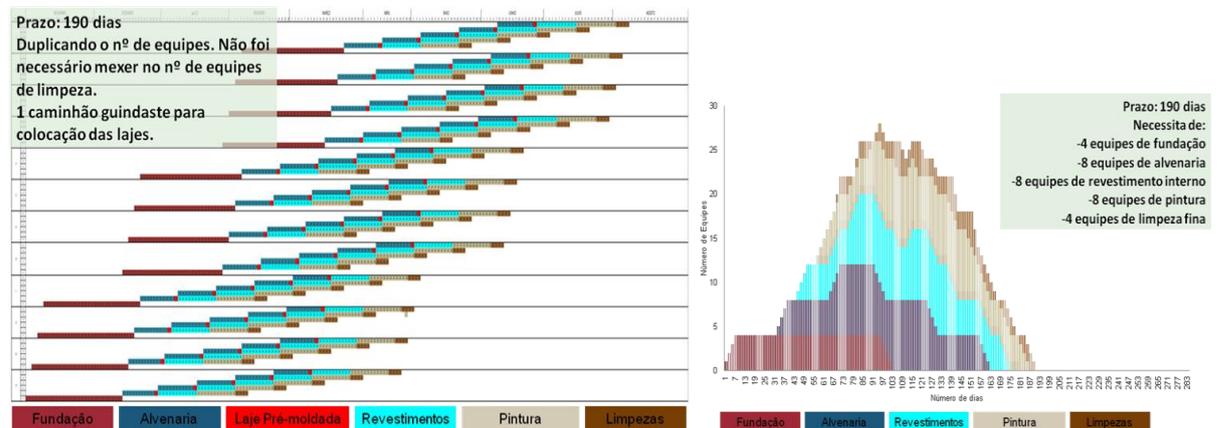


Figura 43: plano de longo prazo realizada pela técnica da LOB e histograma de equipes da simulação 2 do empreendimento L2.

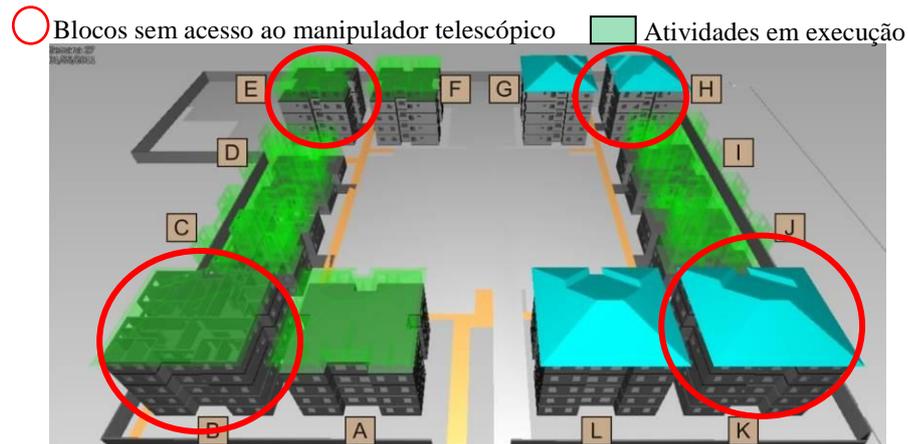


Figura 44: imagem exportada do modelo BIM 4D da simulação 2.

As informações provenientes das simulações elaboradas neste estudo foram apresentadas ao diretor de engenharia e ao setor de planejamento da empresa L em uma reunião de exposição do diagnóstico do processo de elaboração do PCP. Os participantes concordaram com as informações transmitidas e conseguiram visualizar os problemas enfrentados pelo engenheiro de obra neste empreendimento. Por fim, a engenheira de planejamento se prontificou a alterar o plano de longo prazo que estava em vigor na data deste estudo.

### 5.1.3 Modelagem BIM 3D e 4D

Foi realizada a modelagem BIM 3D das torres de apartamento e do canteiro de obras, contendo manipulador telescópico, guindaste, escritório da engenharia, betoneira, área de depósito de areia, estoques de lajes e blocos cerâmicos estruturais, entre outros.

Em seguida, a pesquisadora experimentou a modelagem BIM 4D. Para isso, foi realizada a seleção das atividades do longo prazo do MSProject que se referiam aos elementos geométricos 3D modelados. As atividades foram renomeadas de acordo com o nome dos *sets* criados no *software* de modelagem BIM 4D. Esses *sets* consistem em elementos 3D que representam uma mesma atividade.

Neste estudo, por exemplo, o *set* Laje incluiu os elementos de escadas em conjunto com as lajes e o mesmo foi conectado à tarefa Laje do MSProject. Com o nome das atividades idêntico aos nomes dos *sets*, a pesquisadora aplicou uma regra disponível no próprio Autodesk Navisworks Manage, que liga as geometrias às atividades do plano. Assim, automaticamente, as geometrias ganharam datas de início e de término de execução no modelo BIM 4D, que permitiu visualizar a construção do empreendimento ao longo do tempo. Todo esse processo de modelagem BIM 4D foi retratado na Figura 45, sendo esse um

primeiro modelo que auxiliou a pesquisadora nos demais estudos na elaboração da modelagem BIM 4D na gestão da produção.

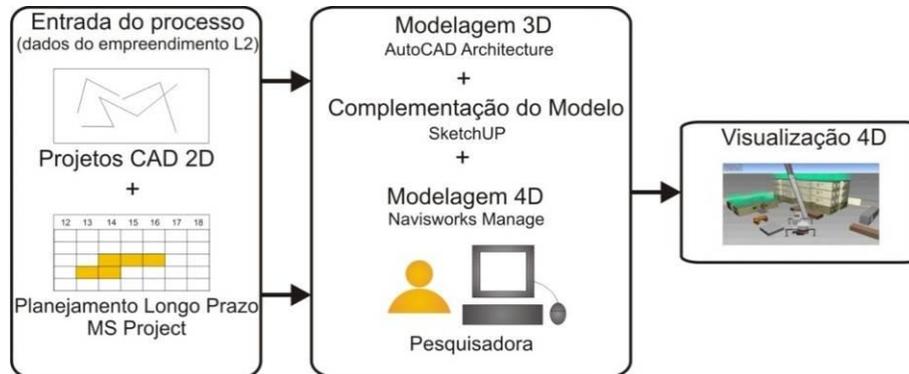


Figura 45: modelo do processo de modelagem BIM 4D realizado no estudo L2.

Após a primeira visualização 4D, para simular os dois cenários de longo prazo, a pesquisadora transferiu as datas encontradas na linha de balanço para um novo arquivo do MSProject, a fim de utilizar um arquivo mais leve contendo apenas as atividades necessárias ao modelo BIM 4D e o mesmo importado no *software* de modelagem BIM 4D para se obter novas visualizações.

#### 5.1.4 Considerações Finais sobre o Estudo Empírico 1

No estudo empírico 1, o primeiro modelo do processo de modelagem BIM 4D foi elaborado. Na avaliação do plano de longo prazo do empreendimento L2, foram utilizadas as seguintes ferramentas: (a) linha de balanço, que permitiu a visualização do fluxo de trabalho das equipes e de inconsistências na sequência de execução e na duração das atividades planejadas; (b) *software* de modelagem BIM 3D, para produzir o modelo 3D das atividades que se pretendia estudar; (c) *software* de modelagem BIM 4D Autodesk Navisworks Manage; (d) MSProject para inserir mais facilmente as datas das atividades representadas no modelo BIM 4D.

A linha de balanço e o histograma de mão de obra tiveram o papel de explicitar os fluxos de trabalho e a quantidade necessária de equipes de operários, respectivamente, enquanto que o modelo BIM 4D permitiu a compreensão espacial do plano de longo prazo elaborado pela empresa L, explicitando conflitos entre equipamentos de transporte, estoque, instalações de segurança (Figura 46). A partir da visualização 4D, novas oportunidades de melhorias ao plano foram propostas em dois cenários elaborados e novamente analisados no modelo BIM

4D, configurando esse, um processo cíclico de visualização de melhorias e alterações no plano para alcançá-las.

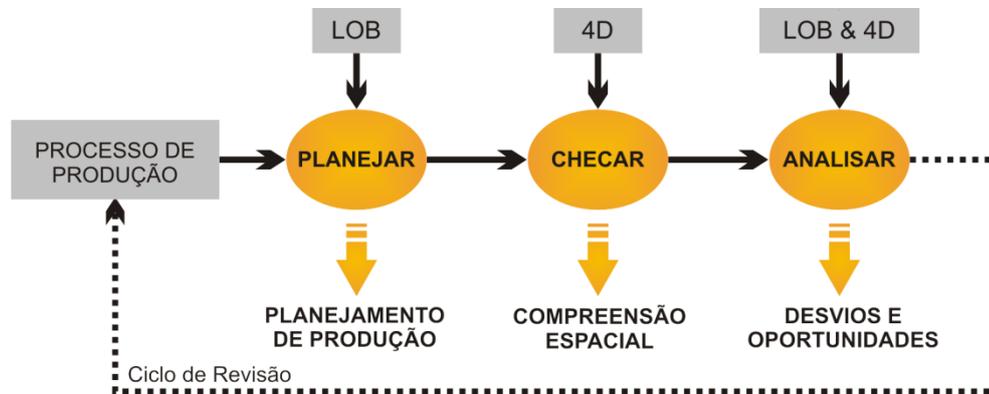


Figura 46: planejamento e análise do fluxo de trabalho utilizando a LOB, histograma de mão de obra e o modelo BIM 4D (baseado em Björnfort e Jongeling, 2007)

## 5.2 ESTUDO EMPÍRICO 2

Conforme apresentado no capítulo 4, o estudo empírico 2 focou-se em descrever e avaliar o plano de longo prazo do empreendimento L3, e estudar os impactos do replanejamento do processo de revestimento externo das fachadas das torres.

### 5.2.1 Avaliação do Plano de Longo Prazo do Empreendimento L3

Conforme explicado no estudo empírico 1, os planos de longo prazo dos empreendimentos na empresa L eram elaborados pelo setor de planejamento da empresa, que envia essas informações à obra. Dependendo do andamento da obra, os engenheiros de obra podem modificar este plano, mas apenas após discuti-los com o setor de planejamento e obter autorização por parte do mesmo.

A Figura 47 apresenta as principais atividades desenvolvidas neste estudo, sendo indicadas as ferramentas utilizadas e os participantes por parte da empresa L. Foram feitas análises usando diferentes unidades de planejamento: a unidade base, as torres e o empreendimento como um todo. Para avaliação do plano de longo prazo do empreendimento L3, inicialmente, a engenheira de planejamento e a estagiária do setor forneceram projetos arquitetônicos e estruturais em AutoCAD 2D e os planos de longo prazo do empreendimento. As informações contidas nesses documentos foram inicialmente utilizadas na modelagem BIM 4D, na elaboração da rede de precedência e linhas de balanço do empreendimento.

Foco	Informações explicitadas	Ferramentas utilizadas	Participantes da empresa
Unidade base	Sequência de execução das atividades	Diagrama de precedência Modelo BIM 4D	Engenheira da obra e engenheira de planejamento
	Capacidade dos recursos de produção disponíveis	Planilha de dimensionamento dos recursos de produção	Engenheira da obra
Torres	Fluxos de trabalho	Linha de balanço Modelo BIM 4D	Engenheira de planejamento, estagiária
Empreendimento	Estratégia de execução	Modelo BIM 4D	Engenheira de planejamento, estagiária
	Capacidade de mão de obra	Histograma de recursos	Engenheira de planejamento, estagiária
	Leiaute de canteiro e capacidade de equipamentos	Modelo BIM 4D	Engenheira da obra, de planejamento

Figura 47: quadro resumo das atividades desenvolvidas no estudo empírico 2.

Com base em uma entrevista com a engenheira da obra e no plano de longo prazo existente, foi elaborada a rede de precedência das atividades na unidade base (pavimento) do empreendimento (Figura 48), baseando-se na análise do 16º pavimento da torre 2.

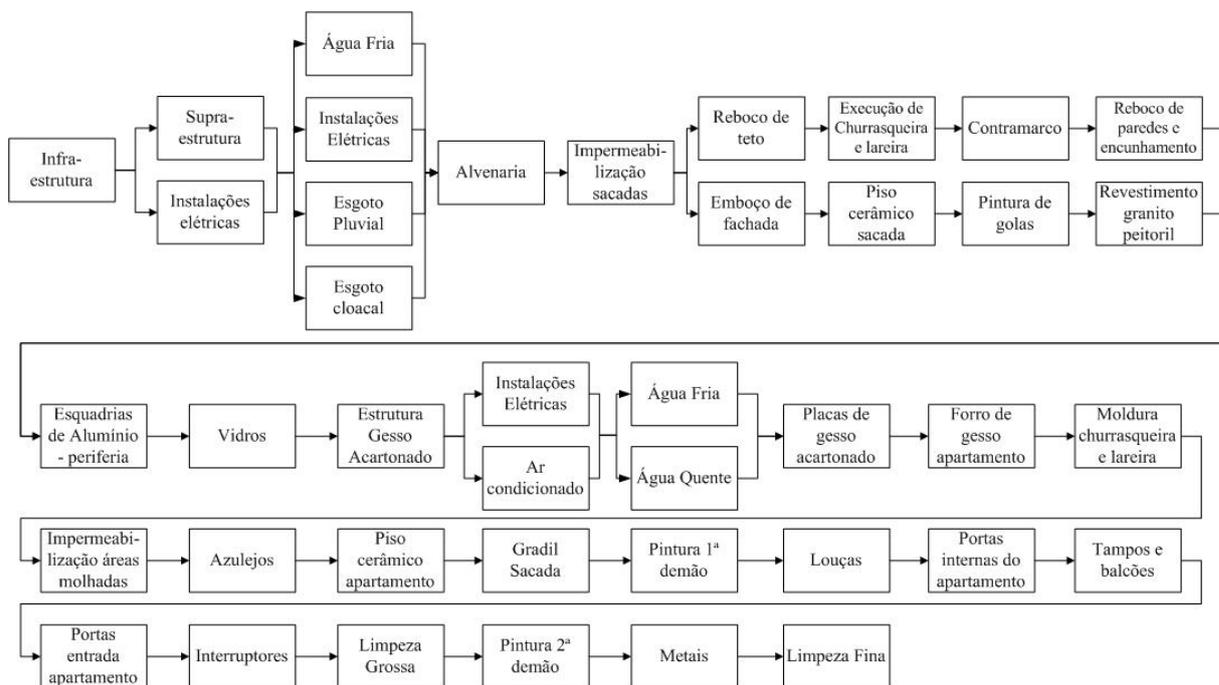


Figura 48: Sequência de execução das atividades da unidade base do 16º pavimento da torre 2 do empreendimento L3.

Em seguida, foram geradas duas linhas de balanço das torres. A primeira foi produzida no próprio arquivo do plano de longo prazo do MSProject (Figura 49), e a segunda, foi gerada no MSExcel, para que o histograma de recursos de mão de obra pudesse ser produzido.

Inicialmente, com a transformação do plano de longo prazo do empreendimento em linha de balanço, pôde-se perceber que havia grande quantidade de trabalho em progresso causada pelas diferenças de ritmos das atividades, as quais alteravam a sequência de trabalho na unidade base e interceptavam os fluxos de trabalho de diversas atividades.

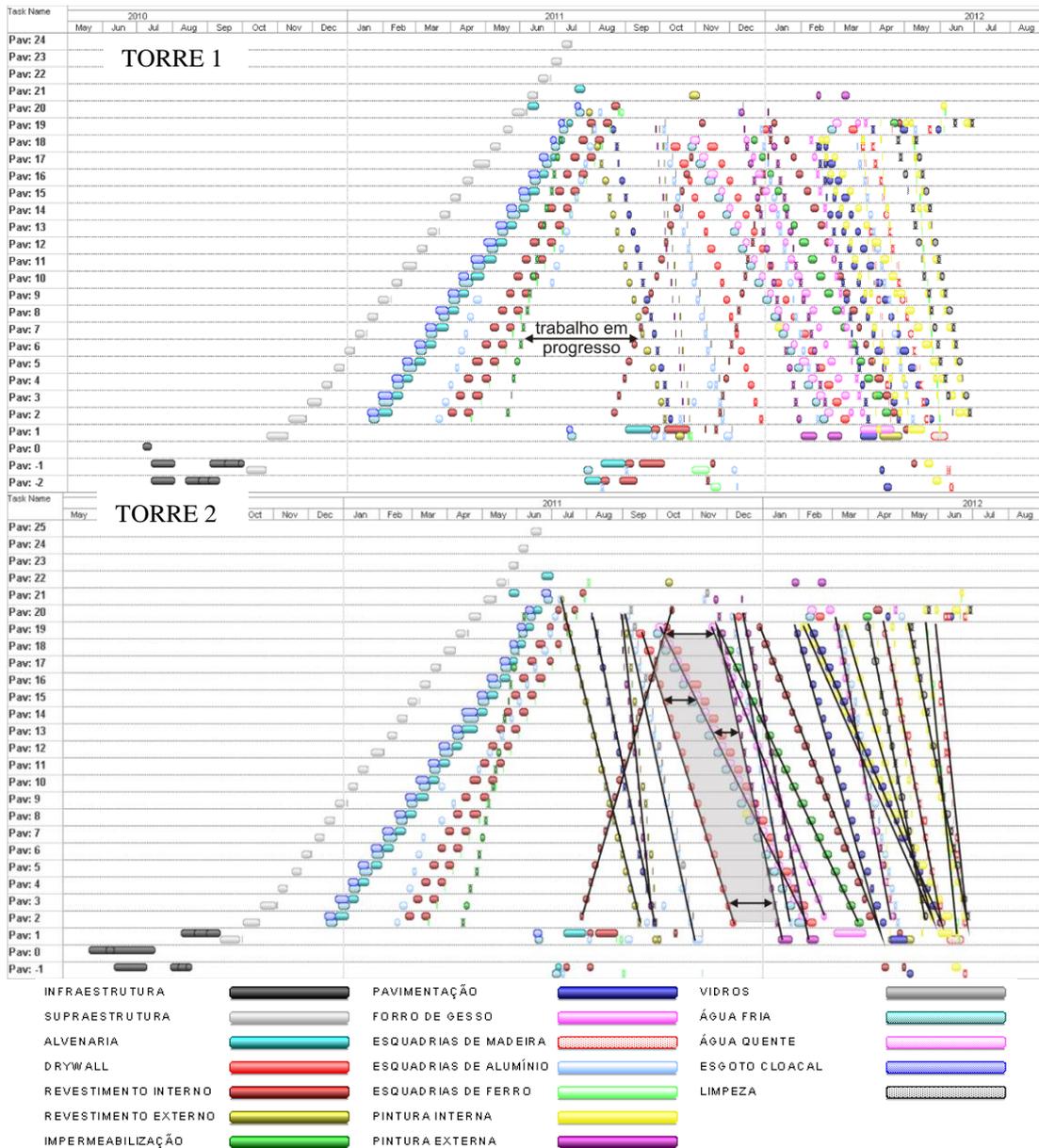


Figura 49: linhas de balanço das torres 1 e 2 do empreendimento L3.

Nas linhas de balanço, foram explicitadas a unidade base, as durações de algumas atividades e os fluxos principais de trabalho nas torres, entre outras informações. A mudança do sentido do fluxo de trabalho é muito comum em empreendimentos verticais, pois após subir as atividades de estrutura e alvenaria, atividades de revestimento tomam o sentido descendente da edificação. Essa alteração no sentido do fluxo de trabalho provocou, de maneira inevitável

considerando a tecnologia utilizada, um trabalho em progresso de três meses nos primeiros pavimentos das torres, ou seja, esses apartamentos ficaram durante três meses sem receber nenhuma atividade de transformação.

Entretanto, muitas construtoras no Brasil preferem optar pela “descida” apenas dos revestimentos de fachada, mantendo os revestimentos e acabamentos internos no sentido ascendente, justamente para não provocar muitos dias de trabalho em progresso nos primeiros pavimentos das torres. Esta medida, por sua vez, é questionável, pois piora o fluxo de caixa e dificulta a logística de limpeza no final da obra.

As variações nas precedências das atividades podem ser vistas na Figura 50, as quais comparam as sequências executivas do 4º e 16º pavimentos da torre 2 através de uma lista de atividades, respectivamente.

1.	Supraestrutura	1.	Supraestrutura
2.	Água fria e esgoto cloacal	2.	Água fria e esgoto cloacal
3.	Alvenaria	3.	Alvenaria
4.	Contramarco	4.	Impermeabilização sacada
5.	Revestimento de teto	5.	Revestimento de teto
6.	Revestimento de parede	6.	Contramarco
7.	Impermeabilização sacada	7.	Revestimento de parede
8.	Revestimento de churrasqueira e lareira	8.	Revestimento externo
9.	Revestimento externo	9.	Piso cerâmico sacada
10.	Piso cerâmico sacada	10.	Pintura de golas
11.	Pintura de golas	11.	Revestimento peitoril
12.	Revestimento peitoril	12.	Esquadria de alumínio
13.	Esquadria de alumínio	13.	Vidro
14.	Vidro	14.	Revestimento de churrasqueira e lareira
15.	Estrutura gesso acartonado	15.	Estrutura gesso acartonado
16.	Textura externa	16.	Água fria e quente embutida
17.	Água fria e quente embutida	17.	Placas de gesso acartonado
18.	Placas de gesso acartonado	18.	Forro de gesso
19.	Pintura externa	19.	Textura externa
20.	Forro de gesso	20.	Impermeabilização áreas molhadas
21.	Impermeabilização das áreas molhadas	21.	Gradil e sacada
22.	Azulejo	22.	Pintura externa
23.	Piso cerâmico áreas molhadas	23.	Azulejo
24.	Forro de gesso áreas molhadas	24.	Piso cerâmico áreas molhadas
25.	Gradil de sacada	25.	Pintura interna
26.	Limpeza grossa	26.	Piso apartamento
27.	Pintura interna	27.	Forro de gesso áreas molhadas
28.	Piso apartamento	28.	Pintura interna
29.	Pintura interna	29.	Limpeza grossa
30.	Esquadria de madeira	30.	Esquadria de madeira
31.	Esquadria de ferro e pintura	31.	Pintura interna
32.	Pintura interna	32.	Limpeza fina
33.	Esquadria de madeira	33.	Esquadria de ferro e pintura
34.	Limpeza fina	34.	Esquadria de madeira

4º Pavimento

16º Pavimento

Atividades sublinhadas: processos nas fachadas

Figura 50: comparativo das sequências de execução das atividades entre o 4º e 16º pavimentos.

A alteração na ordem de execução das atividades do 16º pavimento pode ocasionar problemas de qualidade nos serviços, ou mesmo, dificuldades de execução. Por exemplo, quanto a qualidade nos serviços, espera-se que a limpeza grossa dos apartamentos seja executada antes de iniciar sua pintura e que a limpeza fina seja a última atividade a ser realizada nos apartamentos e áreas comuns, depois das instalações das esquadrias de madeira e de ferro. Como exemplo de dificuldade de execução de atividades, pode-se citar a colocação de contramarcos durante a execução do revestimento de teto dos apartamentos, pois os mesmos se encontram interditados para locomoção do operário devido aos cavaletes utilizados na projeção da argamassa do teto.

Analisando o diagrama de sequenciamento das atividades, foi possível conferir os problemas de descontinuidade na mobilização das equipes de esquadria de alumínio (azul claro) que tem suas atividades muito segmentadas ao longo da obra; e, duas mobilizações para as atividades de pintura externa (roxo), revestimento externo (amarelo escuro) e impermeabilização (verde) (Figura 51).

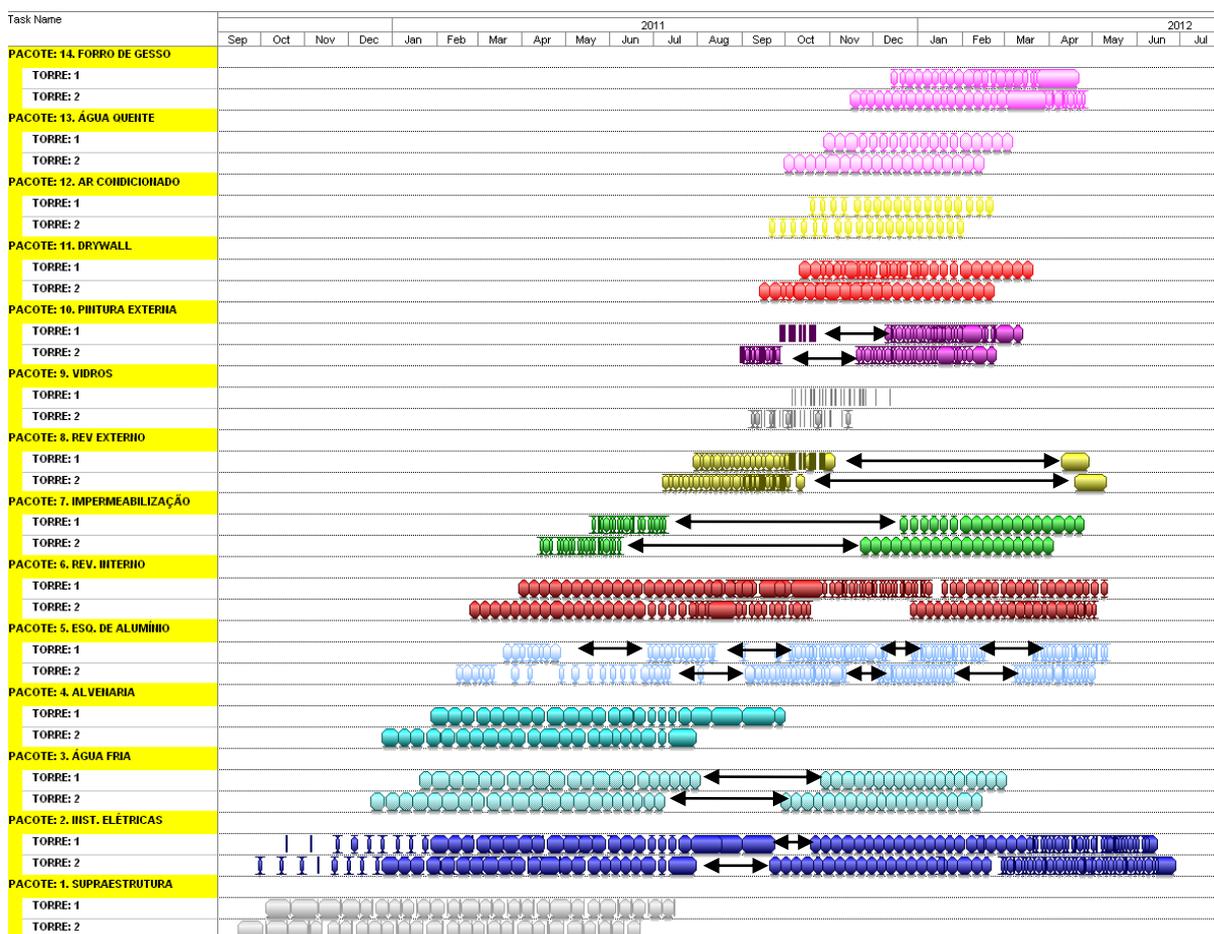


Figura 51: diagrama de sequenciamento das atividades do caminho crítico nas torres 1 e 2.

Como a atividade de gesso acartonado era considerada um processo crítico para o empreendimento L3, e estava havendo dificuldades de comprometimento deste subempreiteiro, sugeriu-se à empresa L estudar a sincronização das equipes entre a torre 1 e 2, para tentar manter constante o número de equipes ou operários necessários na obra e manter seus fluxos de trabalho ininterruptos. Para isso, foi realizado um estudo focado nos processos do subempreiteiro J por meio da linha de balanço.

Esse subcontratado executava as atividades de divisórias de gesso acartonado e forro de gesso nos apartamentos e áreas comuns dos pavimentos das torres. Na Figura 52, pode-se observar as duas atividades referentes à fixação das estruturas para o gesso acartonado, com 3 operários e, a atividade de colocação das placas de gesso acartonado, com 4 operários. As atividades de forro de gesso nos apartamentos e instalação dos forros de gesso nas áreas comuns dos pavimentos (por exemplo, corredores e hall de elevador) e térreo - ambas com 2 operários cada.

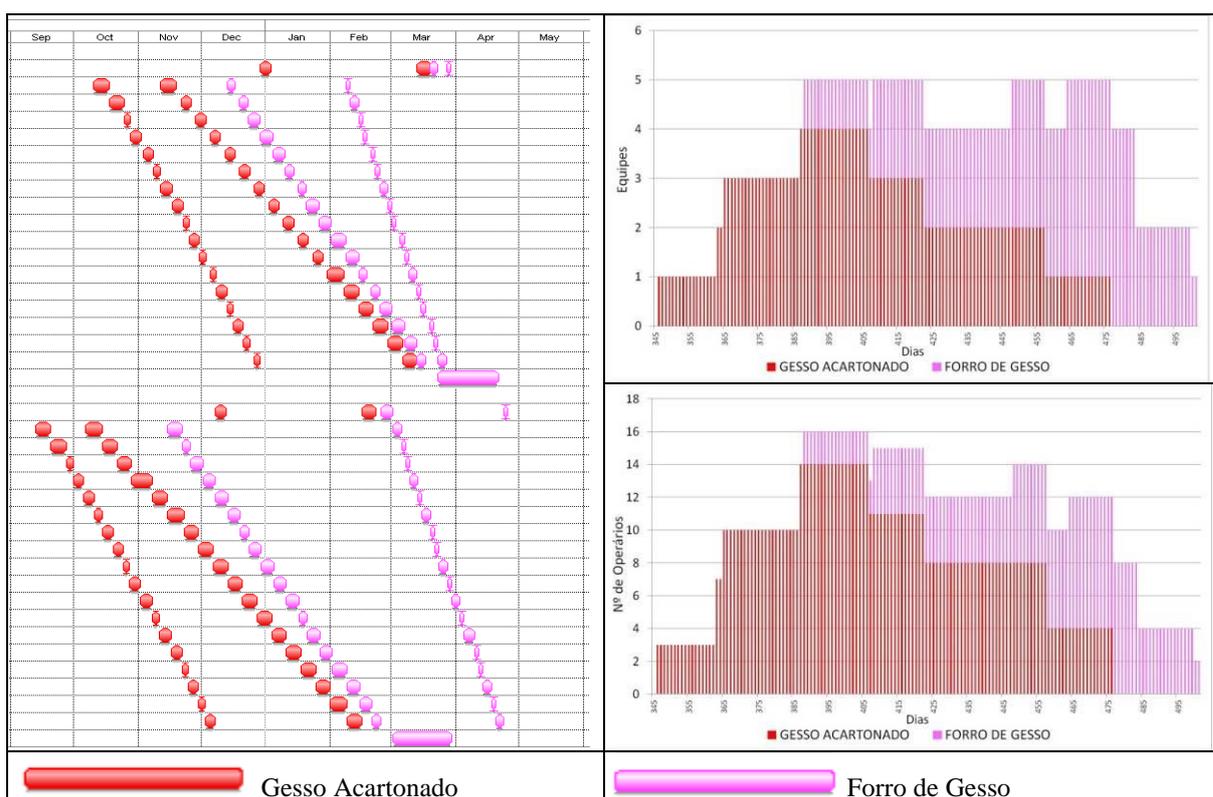


Figura 52: linha de balanço e histogramas de equipes e operários fornecidos pelo subempreiteiro J ao empreendimento.

A partir desta configuração da linha de balanço do MSEXcel, se obteve o histograma de recursos do empreiteiro J. A Figura 52 também apresenta a variação do número de equipes

(acima) e do número de operários (abaixo) do empreiteiro em questão. É possível notar três vales e quatro picos no número de equipes e operários, indicando que, durante um período de 8 meses para realização desses processos, há necessidade de solicitar e desmobilizar constantemente as equipes em curtos espaços de tempo. Como solução para este problema, pode-se balancear e sincronizar as equipes, além de diminuir o trabalho em progresso.

Em uma análise do histograma de recursos de todas as equipes terceirizadas envolvidas nas duas torres, percebeu-se um pico de 39 equipes nos últimos meses de obra e um vale próximo ao 280º dia (metade do prazo da obra), com apenas 9 equipes (Figura 53). Esse pico mostra que as 39 equipes, com média de 3 operários cada, vão compartilhar os mesmos recursos de transporte vertical para realizar, simultaneamente, as 12 seguintes atividades: instalação de tampos, louças, artefatos metálicos, instalações elétricas, pintura interna, colocação de esquadrias de alumínio, de esquadrias de madeira, forro de gesso, piso cerâmico, impermeabilização, revestimentos internos (azulejos, pedras) e limpeza grossa. Este pico elevado pode causar problemas à medida os equipamentos de transporte de materiais e operários devem atender à demanda imposta pelo plano de longo prazo e garantir que não haja conflitos de fluxos de trabalho nos pavimentos, a fim de evitar o atraso na execução das atividades.

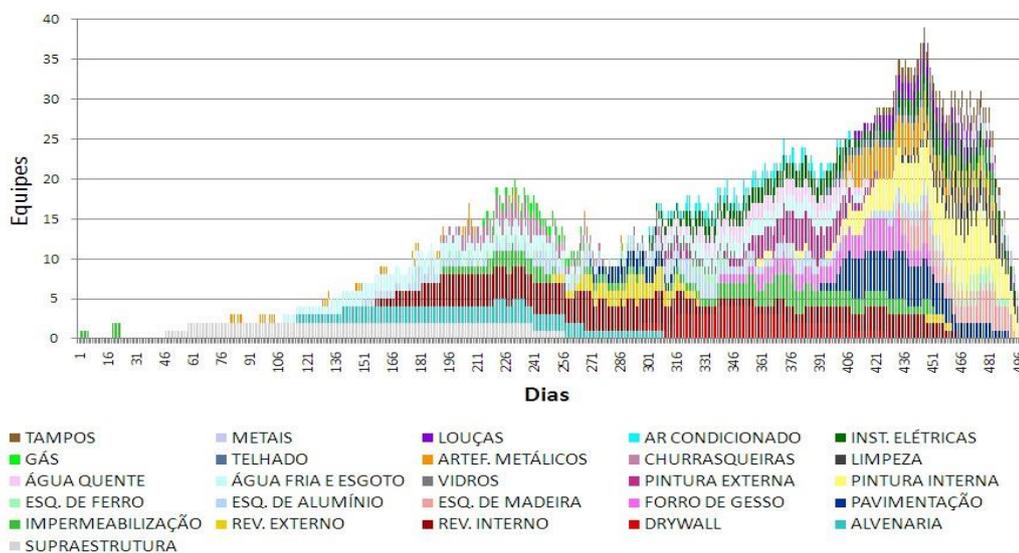


Figura 53: histograma de recursos do empreendimento L3.

O modelo BIM 4D da estratégia de ataque do empreendimento foi apresentado à equipe do setor de planejamento da empresa L. A engenheira responsável pelo setor posicionou as seguintes perguntas: “para que isso me serve?” e “como eu sei se meu planejamento está bom ou não?”.

De fato, a ferramenta mais adequada para avaliar se o plano de longo prazo está coerente é a linha de balanço. Mas, nesta discussão, percebeu-se que um benefício adicional da modelagem BIM 4D era a visualização espacial do plano de ataque e sua relação com os elementos do canteiro de obras, pois se avaliaria as possíveis interferências entre eles.

Tal evidência foi obtida ao se modelar as instalações e principais equipamentos do canteiro. Para isso, foi obtido no escritório da obra o leiaute de canteiro, elaborado pela engenheira de planejamento e seus estagiários. O modelo BIM 3D auxiliou na visualização da atual disposição das principais áreas de estoque, equipamentos e instalações de canteiro (Figura 54), e nas interferências que os mesmos provocavam no acesso dos caminhões guindastes às torres. Por exemplo, devido ao fato do caminhão guindaste que fornecia materiais à torre 2 estar localizado na rua lateral do canteiro, a qual está aproximadamente 4 metros acima do nível térreo, e considerando a obstrução visual provocada pelo muro de concreto de 2,5 metros de altura, o operador do guindaste tinha dificuldades em enxergar os materiais que carregava das áreas de estoque até o alto dos pavimentos (Figura 55 e Figura 56).

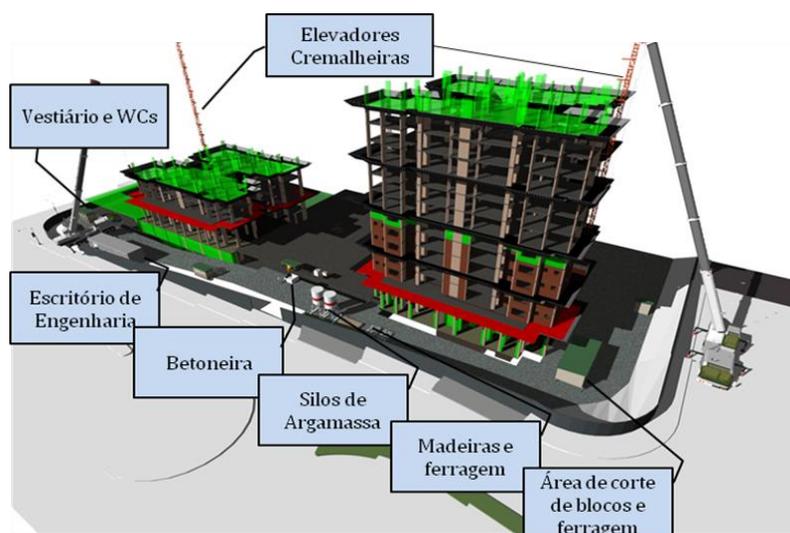


Figura 54: localização das instalações, elevadores a cremalheiras e caminhão guindaste no empreendimento L3.



Figura 55: Áreas de estoques do empreendimento L3.

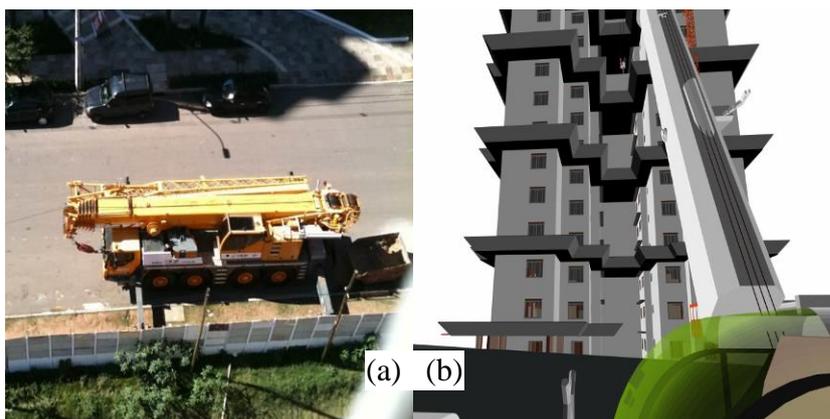


Figura 56: (a) localização do caminhão guindaste na rua lateral à obra e (b) modelo BIM 3D da visão do operador do guindaste evidenciando o muro como barreira visual.

O modelo BIM 4D atualizado foi apresentado ao setor de planejamento da empresa L, o qual visualizou o benefício da ferramenta e demonstrou interesse em utilizá-la em novos empreendimentos, pois perceberam as diversas relações espaciais que o modelo BIM 4D explicitava.

Como a obra estava 2 meses atrasada, a engenheira de planejamento da empresa solicitou à pesquisadora que ajudasse na investigação das causas. Para isso, foi utilizado um recurso do *software* de modelagem BIM 4D que compara visualmente as datas das atividades planejadas com as executadas por meio de cores (Figura 57). Por exemplo, quando um elemento 3D foi executado antes de sua data planejada, este se torna amarelo na animação 4D; se for executado na data planejada, este se torna verde; e caso sua data de execução seja posterior à planejada, este tem aparência vermelha. Desta maneira, rapidamente os participantes do estudo obtiveram um comparativo visual entre as atividades planejadas e as executadas.

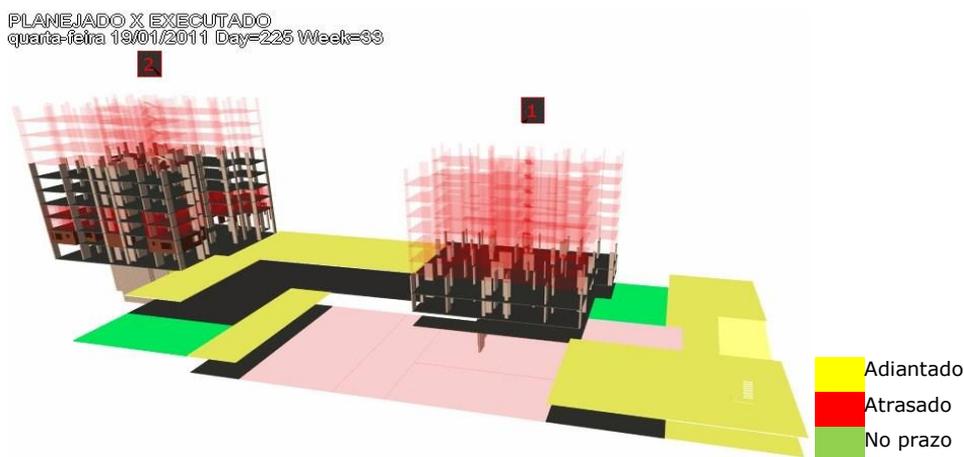


Figura 57: Comparativo das atividades planejadas com as executadas.

A visualização 4D do comparativo entre as atividades se mostrou uma ferramenta rápida para compreensão dos envolvidos sobre o estado atual do empreendimento em relação aos seus prazos. Entretanto, esta modelagem não contribuiu para solucionar as causas dos atrasos, sendo imprescindível a utilização de dados gerados pelo Sistema *Last Planner*.

Foi então realizada uma entrevista com a engenheira responsável pela obra para investigar os motivos dos atrasos. Como a empresa L realizava sistematicamente o planejamento de curto prazo, as causas do não cumprimento dos pacotes eram registradas semanalmente, e as principais causas dos atrasos da obra estão apresentadas no gráfico da Figura 58 e foram elencadas por atividades na tabela da Figura 59.

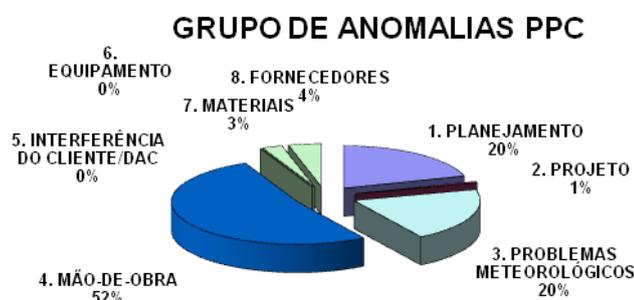


Figura 58: gráfico de não cumprimento dos pacotes. Fonte: empresa L.

Atividade	Sequência ou item planejado	Motivo de atraso	Sequência ou item executado
<b>Escavação</b>	Torre 2 ⇒ Torre 1 ⇒ Implantação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desnível do terreno e localização do plantão de vendas alterou a ordem de escavação;</li> <li>• Período com muita chuva (42% do tempo parado);</li> <li>• Problemas com capacidade dos empreiteiros (poucos caminhões para retirada de terra).</li> </ul>	Torre 2 ⇒ Implantação ⇒ Torre 1
<b>Fundação</b>	Torre 1: estaca escavada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erro no projeto de fundações;</li> <li>• Encontro de rocha no solo da torre 1. Necessidade de novo projeto para fundação em estaca raiz;</li> <li>• Produtividade da estaca raiz é menor e custo maior que a estaca escavada;</li> <li>• Mudança dos projetos de fundação dos blocos de elevador da torre 2.</li> </ul>	Torre 1: estaca raiz e escavada
<b>Lajes</b>	12 dias de execução de cada laje	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lajes de 1º subsolo, térreo e 2º pavimento com maior tempo de execução do que o planejado.</li> </ul>	(15 a 18 dias) 4 meses e meio as lajes da implantação
<b>Alvenaria</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de comprometimento do empreiteiro que realiza o reboco;</li> <li>• Demora na instalação do elevador cremalheira.</li> </ul>	

Figura 59: causas dos atrasos na execução das atividades do empreendimento L3.

É possível verificar que a mão de obra é responsável por 52% do não cumprimento dos pacotes, sendo 28% causada por falta de comprometimento dos subcontratados, visto na atividade de alvenaria. Enquanto planejamento e problemas meteorológicos representam cada um 20% das causas do não cumprimento do plano de curto prazo, sendo que 7% são causados pela modificação dos planos, e outros 7%, por problemas não previstos na execução da atividade, como ambos ocorreram na fundação.

### 5.2.2 Estudo do Replanejamento do Empreendimento L3

Como mencionado acima, o empreendimento L3 estava dois meses atrasado por diversos motivos apresentados no quadro da Figura 59. Além desses, a obra sofreu com o embargo efetuado pela SRTE (Superintendência Regional do Trabalho) em algumas atividades, como o corte com serra circular, o transporte de pessoas e cargas pelo elevador a cabo, que foi substituído pelo elevador de cremalheira, entre outras.

Neste estudo, a engenheira da obra sugeriu duas alternativas de replanejamento. Foram escolhidos dois processos críticos, gesso acartonado e revestimento externo, pois, caso fossem finalizados nas datas planejadas, não atrasariam o início das atividades subsequentes, contribuindo para aumentar as chances de entregar o empreendimento no prazo inicialmente estipulado pela empresa. O replanejamento foi realizado pela engenheira da obra, sendo as decisões finais tomadas em conjunto com outros profissionais do setor de planejamento.

A primeira alternativa de replanejamento foi referente à uma nova sequência das atividades para o gesso acartonado. No plano inicial, a execução dos montantes para o gesso acartonado era posterior à colocação dos vidros das janelas de alumínio. No replanejamento, a execução dos montantes para o gesso acartonado foi antecipada para iniciar logo após o término do revestimento externo, e ocorriam concomitantemente à colocação do peitoril das janelas (Figura 60). A empresa L, após a reunião entre a engenheira da obra e os funcionários do setor de planejamento, aprovou essa primeira alternativa de replanejamento.



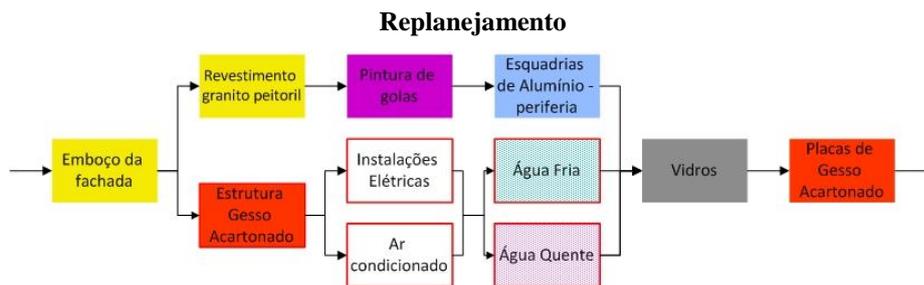


Figura 60: Alteração nas redes de precedência – planejamento e replanejamento.

Em seguida, os participantes do estudo solicitaram à pesquisadora fazer uma modelagem BIM 4D da segunda alternativa do replanejamento da obra, que havia também sido elaborado pelo setor de planejamento. Desejava-se encontrar os possíveis conflitos que a alteração do fluxo de revestimento externo poderia causar no empreendimento. A nova opção dividia o revestimento externo em duas etapas, a primeira do 15º ao 2º pavimento, e, após, a segunda, da cobertura ao 16º pavimento, em ambas as torres. Então, diversas alterações no modelo BIM 3D foram realizadas, como o detalhamento das fachadas e a inclusão dos revestimentos externos. Assim, o modelo BIM 4D do empreendimento estava apto a fornecer mais informações para o estudo do replanejamento.

A Figura 61 apresenta uma visualização das interferências físicas entre as instalações de segurança e os processos em execução, com base na modelagem BIM 4D, permitindo identificar possíveis riscos aos operários envolvidos

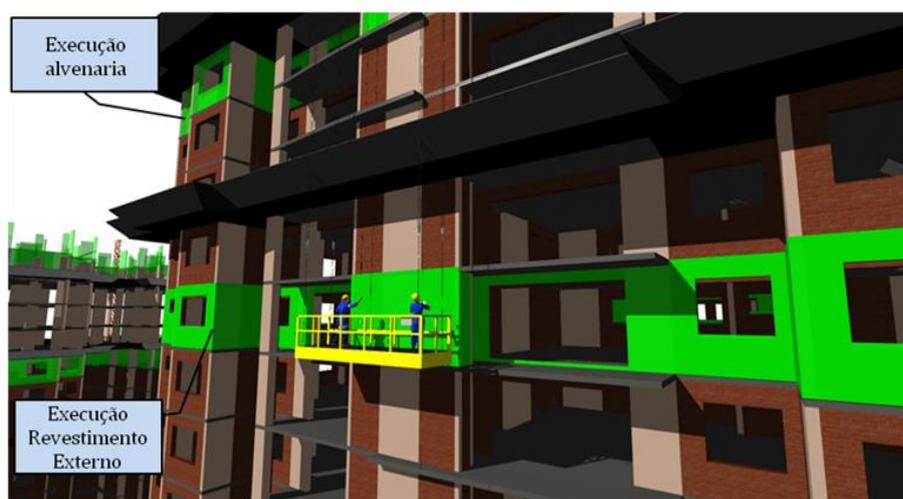


Figura 61: estudo do replanejamento do processo de revestimento externo do empreendimento L3.

Visualizou-se também no modelo BIM 4D que a execução da atividade de alvenaria simultânea ao revestimento externo poderia oferecer risco de queda de materiais nos operários dos andaimes suspensos. Foram também identificadas dificuldades de fixar os andaimes no 16º pavimento, pois a alvenaria desse pavimento já estaria concluída, e, se fossem fixados na platibanda, as bandejas secundárias impediriam seu percurso livre pela fachada.

Também se elaborou, para a alternativa 2, linhas de balanços das torres 1 e 2 no MSProject (Figura 62). As barras contornadas por linhas coloridas se referem ao planejado (*baseline*), em contraposição ao que foi executado e replanejado (barras coloridas), de acordo com a legenda da figura, gerada pelo *software*.

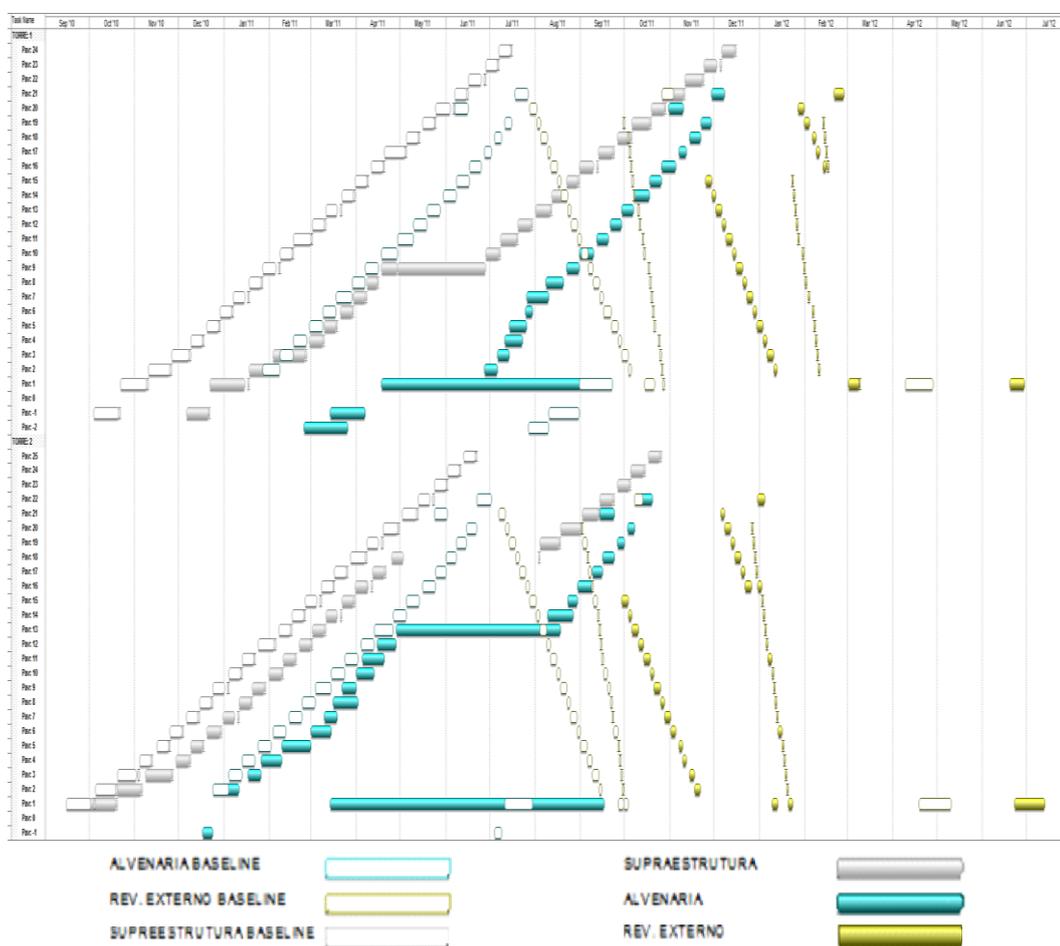


Figura 62: planejado *baseline* versus opção de replanejamento.

Apesar da linha de balanço permitir a visualização e o balanceamento dos fluxos de trabalho, a empresa não considerou seus potenciais benefícios, devido a inexperiência dos funcionários em utilizá-la e por isso, sua implantação não aconteceu durante este estudo.

Quando a pesquisadora havia finalizado sua simulação no modelo BIM 4D, a empresa já havia decidido em não executar aquela opção de replanejamento, por julgar que a mesma reduzia a segurança dos trabalhadores na execução das atividades de fachadas, e, se convenceram de que haviam tomado uma decisão que seguia os padrões de segurança da empresa. Como a mesma considerava que havia uma fiscalização rigorosa da SRTE, não poderiam correr o risco de um novo embargo da obra.

### 5.2.3 Processo de Modelagem BIM 3D e 4D

Todo o processo de modelagem BIM 4D foi realizado pela pesquisadora com auxílio de uma bolsista. Como os projetos disponíveis eram todos em CAD 2D, houve a necessidade de modelar em BIM 3D os projetos, para depois gerar os modelos BIM 4D.

Com os projetos arquitetônico e estrutural, a pesquisadora analisou os projetos para compreender sua volumetria. Em seguida, preparou os arquivos CAD 2D, ou seja, apagou as informações desnecessárias (como textos, cotas, móveis, camadas, entre outras), deixando apenas os desenhos 2D dos elementos que foram modelados em BIM 3D. Essas atividades totalizaram um tempo de execução de 5h20.

A modelagem BIM 3D do empreendimento e da unidade base ocorreu por meio de plantas, cortes e fachadas do empreendimento. A duração da modelagem BIM 3D do empreendimento L3 foi de cinco dias, totalizando aproximadamente, 30 horas.

Os elementos BIM 3D do empreendimento modelado foram: estacas de fundação, contrapisos do estacionamento do subsolo e térreo, lajes e pilares das torres e implantação, guarita, muros, piscina coberta e quiosque da churrasqueira. Internamente às torres, foram modelados: paredes em alvenaria, janelas, escadas, portas de madeira e de elevadores.

Após a finalização da modelagem BIM 3D do empreendimento, esse foi inserido no Navisworks Manage 2012 com todas suas características de materiais e dimensionais. Uma triagem no arquivo do plano de longo prazo no MSProject foi realizada para que fossem listadas apenas as atividades que eram representadas em elementos 3D. Então, um novo arquivo MSProject foi gerado e importado no programa de modelagem BIM 4D.

Para que se pudesse conectar um elemento do modelo 3D com sua respectiva tarefa do plano de longo prazo, foi necessário criar *sets* (conjuntos de geometria) com o mesmo nome de sua atividade planejada no MSProject. Essa etapa durou cerca de três horas. Assim, a ligação

entre plano e modelo 3D ocorreu automaticamente através de uma regra disponível no programa de modelagem BIM 4D, que utiliza as datas de início, término, início planejado e término planejado diretamente do MSProject.

Logo, a pesquisadora continuou a modelagem 3D do terreno e do canteiro de obras, a qual foi executada em 8h. Para isso, a equipe de pesquisa foi até o canteiro para coletar dados referentes à localização, tipo e tamanho dos equipamentos e instalações. Para o canteiro de obra, alguns elementos foram modelados e outros foram copiados do Armazém 3D do SketchUp. Constavam no modelo os seguintes elementos: elevadores de cremalheiras, *pallets* de blocos cerâmicos e argamassas, estoque de vergalhões e madeira, betoneira, galpões de armazenagem de material elétrico, escritório da engenharia, vestiário, caminhão guindaste, entre outros. A partir deste modelo 3D do empreendimento com o canteiro de obra, diversas questões puderam ser estudadas, como as descritas ao longo deste estudo.

A modelagem BIM 3D da unidade base, que compreendeu todo o pavimento, aconteceu depois que o modelo BIM 4D do empreendimento estava pronto. Para isso, se aproveitou o modelo BIM 3D de um pavimento do empreendimento, e se acrescentou componentes aos elementos geométricos. Essa alteração foi realizada nos elementos de laje e alvenarias, como mostra a Figura 63, e foi automaticamente replicada no restante do modelo por se tratar de um modelo BIM. Portanto, houve um detalhamento dos itens já modelados e o acréscimo de novos elementos.

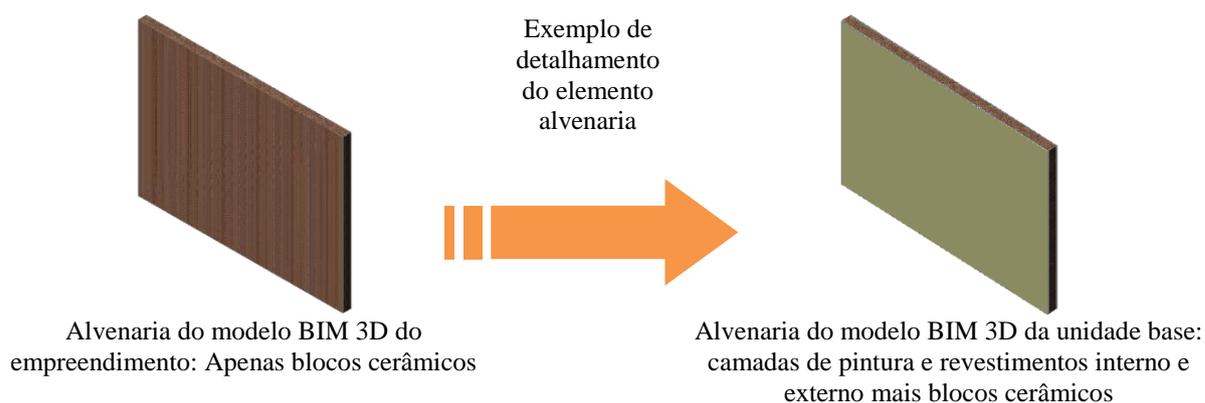


Figura 63: Exemplo de alvenaria do modelo BIM 3D do empreendimento e seu detalhamento com a inserção de novos componentes para o modelo BIM 3D da unidade base.

Constava no modelo BIM 3D do pavimento os seguintes elementos: paredes de blocos cerâmicos, seus revestimentos interno e externo e pinturas interna e externa; pilares; estruturas

e placas de gesso acartonado e sua pintura; azulejos; piso cerâmico; impermeabilização das sacadas e das áreas úmidas, vidros das esquadrias; forros de gesso; gradil das sacadas; corrimão das escadas; portas de madeira; e porta dos elevadores.

O modelo BIM 4D do pavimento foi elaborado da mesma forma que o modelo BIM 4D do empreendimento, ou seja, por criação de *sets* e sua ligação às atividades planejadas, cujo arquivo do MSProject só haviam as datas referentes aos itens modelados para estudo da unidade base. A pesquisadora coletou as datas do plano de longo prazo das atividades do 4º e 16º pavimentos, para poder compará-los no modelo BIM 4D. Foi necessário utilizar um *software* de edição de vídeos para unir as animações 4D de ambos pavimentos. Todo o processo totalizou 20h.

A Figura 22 apresenta um resumo do tempo de todas as atividades do processo de modelagem BIM 4D para o estudo 2 (Figura 64).

<b>Atividade</b>	<b>Duração</b>
Compreensão do projeto + limpeza dos arquivos dwg (AutoCAD 2D) para a modelagem 3D	5h20
Modelagem BIM 3D do empreendimento no AutoCAD Architecture 2008	30h
Modelagem 3D do terreno, instalações e equipamentos de canteiro no SketchUp	8h
Triagem dos itens do plano original no MSProject 2007 conforme as atividades existentes no modelo 3D	2h40
Modelagem BIM 4D no Navisworks 2012 – associação do plano de longo prazo à geometria (criação de <i>Sets</i> )	3h
Modelagem BIM 3D e 4D da unidade base no AutoCAD Architecture 2012	20h
<b>TOTAL</b>	<b>69 horas</b>

Figura 64: Duração das atividades do processo de modelagem BIM 4D do empreendimento L3.

Constatou-se que o tempo de modelagem BIM 4D do empreendimento propriamente dita (3horas) é apenas 4,3% do tempo de todo o processo de preparação de arquivos e modelagens 3D. Logo, caso os projetos AEC (arquitetura, engenharia e construção) já viessem modelados em BIM, a modelagem 4D seria mais rápida e fácil de ser implantada nas empresas.

O processo de modelagem não foi linear, tendo ocorrido diversos retrabalhos na modelagem 3D, como detalhamento de elementos, adição de novas geometrias, correção de erros, entre outros. Essas alterações se refletiram rapidamente nos demais modelos por terem sido modeladas em BIM. O escopo da modelagem também foi se alterando ao longo do estudo. Conforme os engenheiros da empresa L e a pesquisadora sentissem a necessidade de se visualizar mais questões relativas ao empreendimento, mais elementos eram modelados e novas datas eram adicionadas ao arquivo MSProject da modelagem BIM 4D.

#### 5.2.4 Considerações Finais

Este estudo buscou descrever e avaliar o plano de longo prazo do empreendimento L3, o conflito do mesmo com as atividades de canteiro, além de estudar os impactos de replanejamento no processo de revestimento externo das fachadas. Tendo como objetivo a transparência das informações para que pudessem ser discutidas e melhoradas principalmente com o uso da modelagem BIM 4D.

Logo após os projetos arquitetônicos e estruturais terem sido modelados em BIM 4D, as decisões de planejamento de longo prazo da empresa L, que são tomadas no setor de planejamento da empresa e enviadas para a obra, foram também modeladas. Para a modelagem destas informações de planejamento, foram usadas diversas ferramentas como o diagrama de precedência, a planilha de dimensionamento dos recursos de produção, a linha de balanço e o histograma de recursos.

A partir dessas ferramentas percebeu-se grande quantidade de trabalho em progresso, diferença nos ritmos das atividades, falta de padronização da sequência dos trabalhos além da interceptação de diversos fluxos de trabalho, ocasionando problemas na qualidade e até a impossibilidade de execução de alguns serviços.

Com as informações das ferramentas supracitadas, foi gerado o modelo BIM 4D das torres e dos elementos de canteiro. A partir desse, houve uma clara constatação das alterações das sequências construtivas e do trabalho em progresso nas unidades habitacionais, além da sobreposição de tarefas de um mesmo subcontratado por várias vezes ao longo da obra.

O modelo 4D também ajudou na visualização das disposições das principais áreas de estoque, equipamentos e instalações de canteiro, além das interferências que todos estes elementos provocam no acesso dos caminhões guindastes às torres. Além disso, foi possível visualizar o comparativo 4D entre o estado atual do empreendimento e o prazo previsto, obtendo-se quais atividades estavam no prazo, ou adiantadas ou atrasadas.

Portanto, os resultados apresentados da modelagem BIM 4D e das demais ferramentas informaram os planejadores acerca do plano do empreendimento, e o setor responsável da empresa demonstrou o interesse em desenvolver e utilizar melhor a ferramenta em novos empreendimentos, ao contratar um terceirizado especialista em modelos 4D.

### 5.3 ESTUDO EMPÍRICO 3

O estudo empírico 3 contemplou as etapas de Avaliação do Plano de Longo Prazo, e Estudo de Alternativas de Planos de Longo Prazo com o uso da Modelagem BIM 4D. Neste estudo, diferentemente do anterior, as alternativas propostas de plano foram elaboradas no momento da execução de terraplanagem do empreendimento, envolvendo algumas decisões de PSP, tais como estratégia de ataque, dimensionamento dos recursos de produção, e também o planejamento de longo prazo, incluindo o detalhamento dos pacotes de produção, elaboração de planos alternativos de acordo com a disponibilidade do fornecedor, entre outras definições.

#### 5.3.1 Avaliação do Plano de Longo Prazo do Empreendimento M1

Os planos de longo prazo da empresa M são elaborados no *software* MSProject, pelo setor de planejamento da empresa. Um plano é impresso e fixado em um painel na obra, sendo que este normalmente não é atualizado, tornando-se obsoleto rapidamente, além de ser de difícil interpretação. Ademais, constatou-se no empreendimento M1 que houve pouca participação dos engenheiros de obra na elaboração do plano, embora alguns tivessem experiência em empreendimentos similares. Era solicitado aos engenheiros que retornassem o arquivo do MSProject atualizado com frequência. Entretanto, a falta de aderência da obra ao plano de longo prazo fazia com que os engenheiros não atualizassem o plano, seguindo uma estratégia de ataque totalmente diferente daquela proposta pelo setor de planejamento.

Nesta etapa do estudo, estiveram sempre presentes nas reuniões a engenheira de planejamento, sua estagiária, o diretor e o coordenador da produção. Eles forneceram documentos, permitiram visitas às obras e se indagaram sobre possíveis melhorias para o planejamento do empreendimento M1. Para isso, uma reunião inicial de apresentação do trabalho foi feita na empresa para contextualizar os participantes sobre as atividades a serem realizadas, apresentar alguns conceitos de gestão da produção e explicar as ferramentas utilizadas. A partir dessa reunião, iniciou-se a avaliação do plano de longo prazo.

Para esta avaliação foram explicitadas algumas decisões do projeto do sistema de produção, tais como a sequência executiva das atividades na unidade base, o dimensionamento de recursos a serem utilizados no empreendimento, o plano de ataque, incluindo os principais fluxos de trabalho, entre outras. Para isso, diversas ferramentas sugeridas por Schramm (2004) foram utilizadas, além da modelagem BIM 4D.

A unidade base estabelecida para o empreendimento M1 foi a dupla de casas geminadas. Segundo a engenheira de planejamento que participou deste estudo, a sequência de execução das atividades na unidade base em empreendimentos desse tipo era padrão na empresa. A engenheira forneceu seus arquivos de planejamento das 3 fases do empreendimento. Os mesmos foram analisados e uma sequência de execução das atividades foi transcrita para o diagrama de precedência, na qual foram incluídas duas atividades que não foram dispostas pelo setor de planejamento; são elas a textura de golas e a limpeza grossa, como mostra a Figura 65.

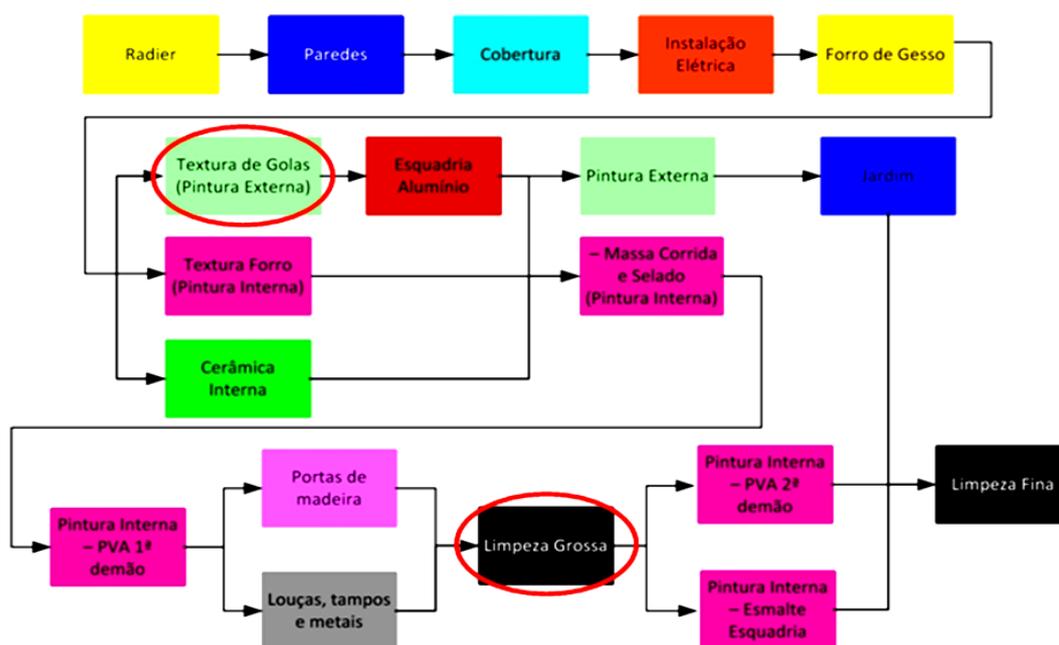


Figura 65: Novas atividades realizadas no canteiro e propostas para compor o planejamento.

O modelo BIM 4D da unidade base foi elaborado e visualizado em duas casas modelo A. A pesquisadora, então, apresentou aos participantes as diferenças de sequenciamento entre as casas. Percebeu-se que havia uma casa com sequência de execução correta e outra com sequência de execução do *radier* errada (Figura 66). Além disso, devido ao grande número de casas no empreendimento, 514, outras ferramentas poderiam ser utilizadas para fazer uma avaliação desta natureza, como a própria linha de balanço, que apresentou de forma mais clara os erros no sequenciamento das atividades. A engenheira de planejamento relatou a dificuldade de enxergar erros de planejamento ao trabalhar com o MSProject, e acrescentou que a alteração da sequência de execução de uma casa para outra ocorreu devido a um erro de digitação da atividade predecessora.

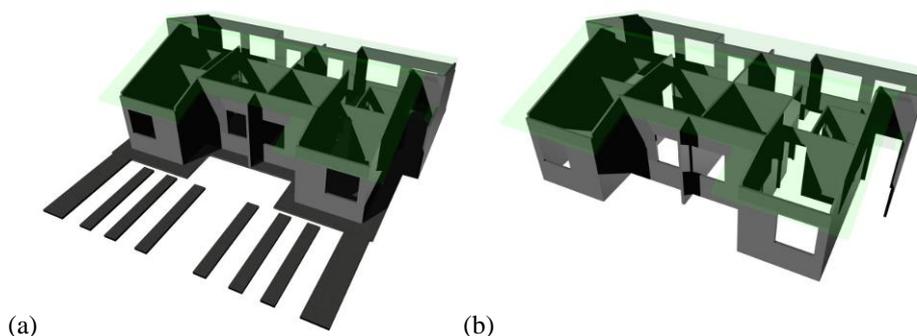


Figura 66: modelo BIM 4D da unidade base do empreendimento M1. (a) casa modelo A com o sequenciamento correto; (b) casa modelo A com erro no sequenciamento – paredes executadas sem *radier*.

Em seguida, a pesquisadora listou os recursos estimados para cada uma das atividades da rede de precedência, a partir de entrevistas com os engenheiros da obra e também com base no plano de longo prazo. Cada modelo de casa tem uma forma de *radier* e de paredes próprias, o que permite a execução simultânea das casas com equipes independentes. Gerou-se, então, uma planilha de capacidade de recursos, seguindo as durações do plano de longo prazo. A engenheira de planejamento informou que as durações das atividades também são padronizadas para empreendimentos de mesma tipologia, mas que devido ao efeito aprendido proporcionado por um empreendimento anterior de mesmas características, as atividades eram executadas em menos tempo que em relação ao plano proposto.

No decorrer da entrevista com o engenheiro da obra, constatou-se também que o processo de execução das paredes se modificou: passou de gabarito, formas, telas, instalações e concretagem, para gabarito, telas, instalações, formas e concretagem. Além disso, atividades como paredes, instalação elétrica, forro de gesso, pinturas internas e externa, portas de madeira e limpezas também tiveram alterações nas suas durações.

Como essas alterações não haviam sido formalmente registradas pela empresa, a pesquisadora elaborou uma nova planilha de capacidade de recursos, procurando fornecer ao setor de planejamento um *feedback* de informações da produção das obras para alimentar a preparação dos futuros planos. As novas durações são apresentadas na Figura 67 como “duração executada”, em contraponto à “duração planejada”.

Pacote	Nova sequência das atividades	Duração Planejada (dias)	Duração Executada	Duração Executada	Equipes	Sub contratada
<b>Radier</b>	Gabarito	7	3 (modelos A, B1, B2) 4 (modelo C)	4 horas	1 equipe civil	A
	Escavação de Vigas de Bordo			1 dia		
	Instalações de Piso			1 dia	1 equipe civil	
	Montagem Formas e Malhas <i>radiers</i>			4 horas	1 equipe civil	
	Concretagem e acabamento			-	1 equipe civil	
	Rampas para Carros e Concretagem					
<b>Paredes</b>	Gabarito	3 (modelo A)	4 (modelos A, B1, B2) 5 (modelo C)	2 horas	1 equipe civil	A
	Montagem Telas			1 dia		
	Instalação Elétrica	4 (modelo B)		1 dia	1 equipe civil	
	Instalação Hidrossanitária	5 (modelo C)		5 horas	1 equipe civil	
	Formas			3 horas		
	Concretagem e acabamento					
<b>Cobertura</b>	Estrutura	5	5	2 dias	1 equipe estrutura	B
	Telhamento e Cumeeiras			2 dias	1 equipe de telhas	
	Funilaria			4 horas	1 equipe funilaria	
<b>Instalação Elétrica</b>	Tubulação Forro/Enfição	4	2	3 horas	1 equipe	C
	Dispositivos			1 dia		
<b>Forro Gesso Acartonado</b>	Estrutura do Forro de Gesso	3	2	1 dia	1 equipe	D
	Plaqueamento do Forro de Gesso			1 dia	1 equipe	
<b>Cerâmica Interna</b>	Impermeabilização	4	4	1 dia	1 equipe	E
	Colocação de cerâmica			2 dias		
	Rejunte			1 dia		
<b>Pintura Interna</b>	Textura do Forro de Gesso	2	3	2 dias	1 equipe	G
	Textura de Golas	-		1 dias	1 equipe*	
<b>Esquadria Alumínio</b>	Esquadria de Alumínio	2	2	2 dias	1 equipe	F
<b>Pintura Externa</b>	Textura Externa	4	6	2 dias	1 equipe*	G
	Pintura Externa			2 dias		
	Pintura Estrutura do telhado			2 dias		
<b>Jardim</b>	Plantio de Grama	2	2	2 dias	1 equipe	I
<b>Pintura Interna</b>	Selador e Massa Corrida	6	5	3 dias	1 equipe	G
	PVA 1ª demão			2 dias		
<b>Portas Madeira</b>	Portas de Madeira	2	1	4 horas	1 equipe	H
<b>Louças e Metais</b>	Instalação de Louças e Metais	4	1	1 dia	1 equipe	C
<b>Limpeza</b>	Limpeza Grossa	-	1	1 dia	1 equipe#	J
<b>Pintura Interna</b>	PVA 2ª demão	4	4	2 dias	1 equipe	G
	Pintura Esmalte de Portas de Madeira			2 dias	1 equipe	
<b>Limpeza</b>	Limpeza Fina	2	1	1 dia	1 equipe#	J

Nova atividade

Duração alterada

Figura 67: nova planilha de capacidade dos recursos de produção da unidade base do empreendimento M1.

Para facilitar a análise dos fluxos de trabalho no empreendimento M1, foram elaboradas diversas linhas de balanço das casas no MSProject. Elas foram divididas de acordo com os

modelos das casas (A, B1, B2 e C) e as fases de execução do empreendimento (1, 2 e 3). Pelas LOBs foi possível constatar a descontinuidade na alocação dos recursos para executar as unidades base, e problemas de sequenciamento das atividades dentro das unidades base, principalmente nas atividades de *radiers* e paredes, como constatado anteriormente na modelagem BIM 4D de duas casas modelo A.

A visualização do plano de longo prazo por meio da linha de balanço também permitiu apontar erros nas relações de precedência entre as atividades durante a elaboração da rede no MSProject. A seguir, Figura 68, o exemplo da LOB da Fase 1, na qual as linhas de balanço das casas tipo A, B1 e B2 seguem na atividade de *radier* uma certa estratégia de ataque, porém, nas atividade consecutivas, como alvenaria, as casas são produzidas sem seguir a mesma estratégia, como mostram as linhas vermelhas. Apenas as linhas das casas tipo C estão seguindo a sequência contínua e o mesmo ritmo de produção.

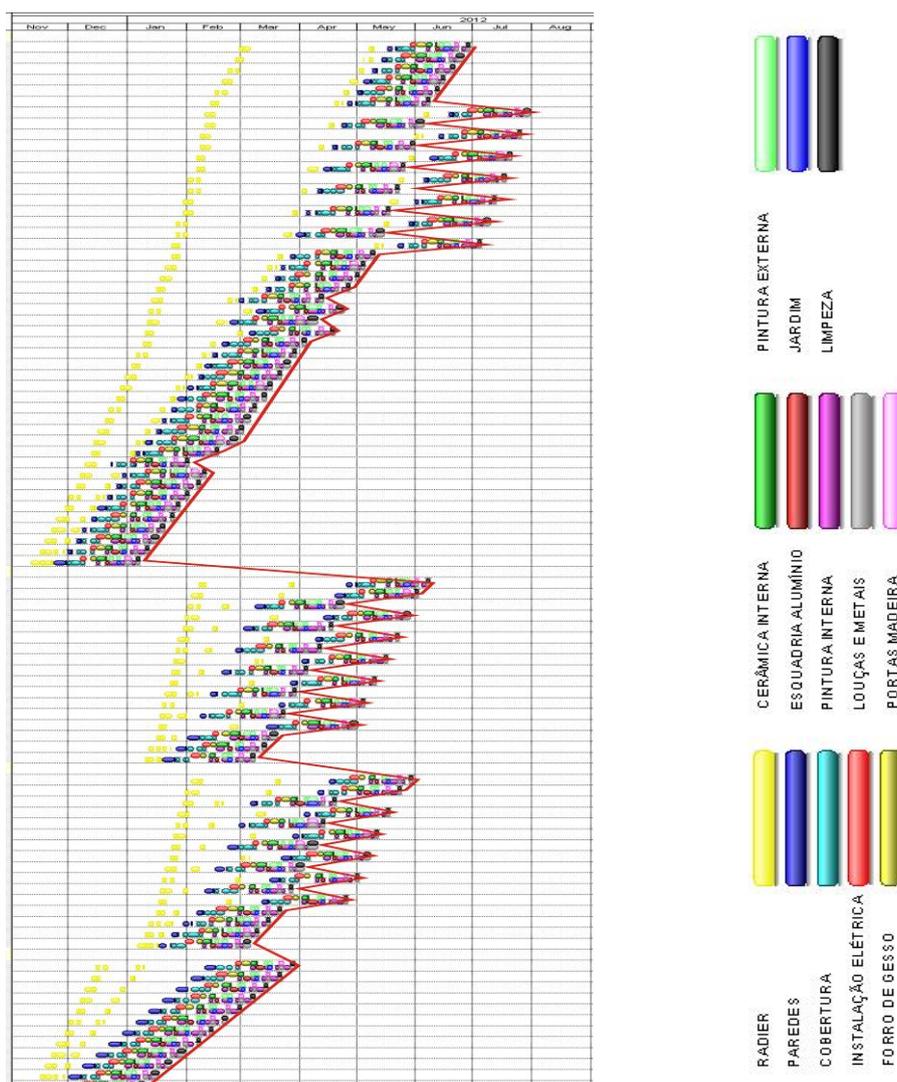


Figura 68: Linha de Balanço da Fase 1 do empreendimento M1.

O empreendimento M1, apesar de ser dividido em três fases para definir as datas de entrega das habitações aos clientes, apresentadas em mais detalhes no capítulo 4, é mais aconselhável tentar manter a continuidade do fluxo de trabalho entre as diferentes etapas, por conta do aumento de produtividade e melhor aproveitamento da mão de obra. Além disso, as formas metálicas das paredes eram alugadas, portanto, deveria haver prioridade de fluxo ininterrupto na execução das mesmas. A Figura 69, ilustra a descontinuidade no fluxo de trabalho das equipes em cada atividade, inclusive na execução das paredes, acontecendo assim, o oposto de que se buscava do planejamento.

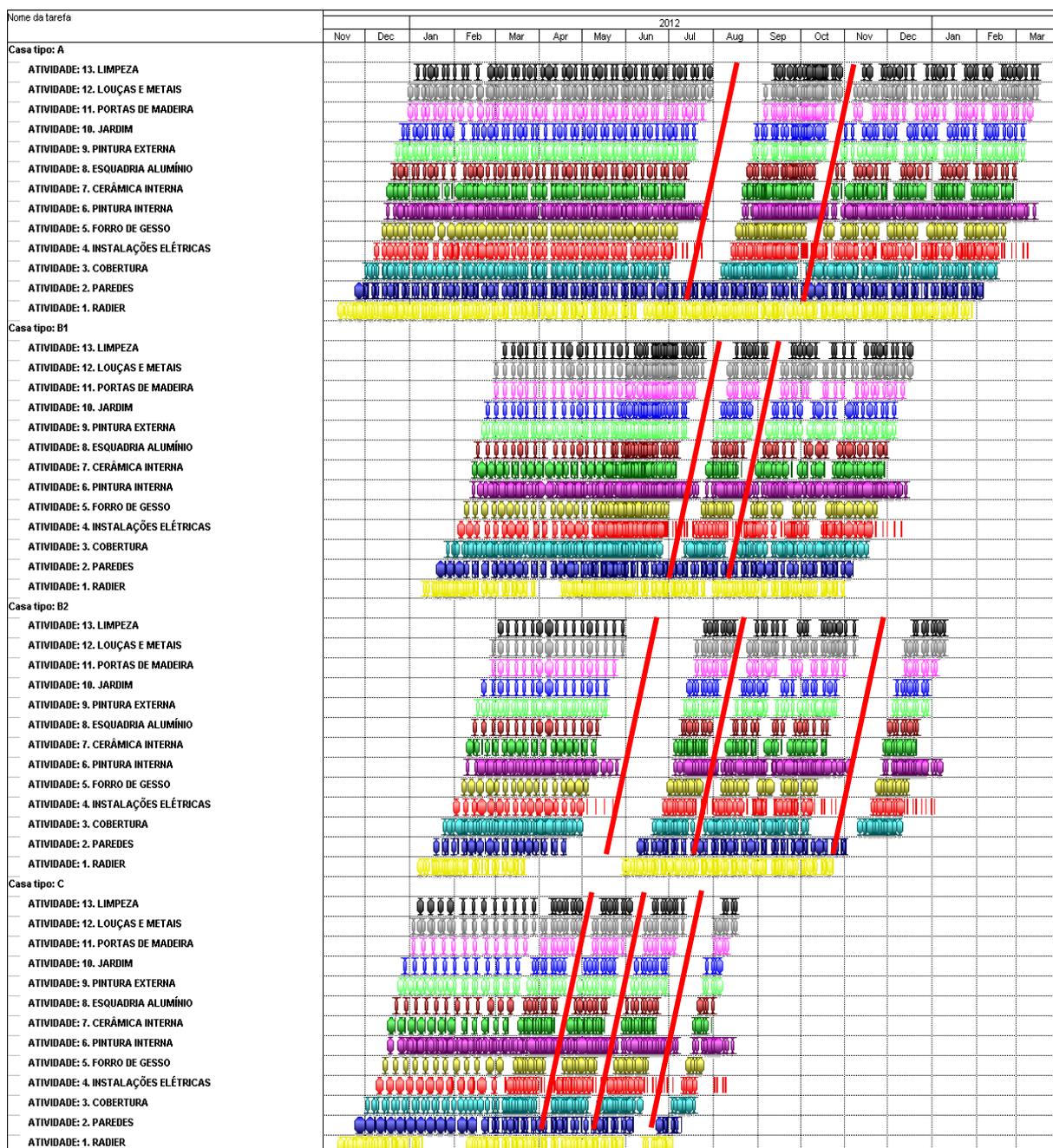


Figura 69: Sequenciamento das atividades do empreendimento M1.

Analisada a unidade base, a pesquisadora procurou avaliar o planejamento das demais atividades do empreendimento, como os serviços de terraplenagem, pavimentação, drenagem, água e esgoto, energia elétrica e estação de bombeamento de esgoto (EBE) e emissário pluvial. Em cada fase da obra (1, 2 e 3) o empreendimento se repetiu nas seguintes atividades (Figura 70):

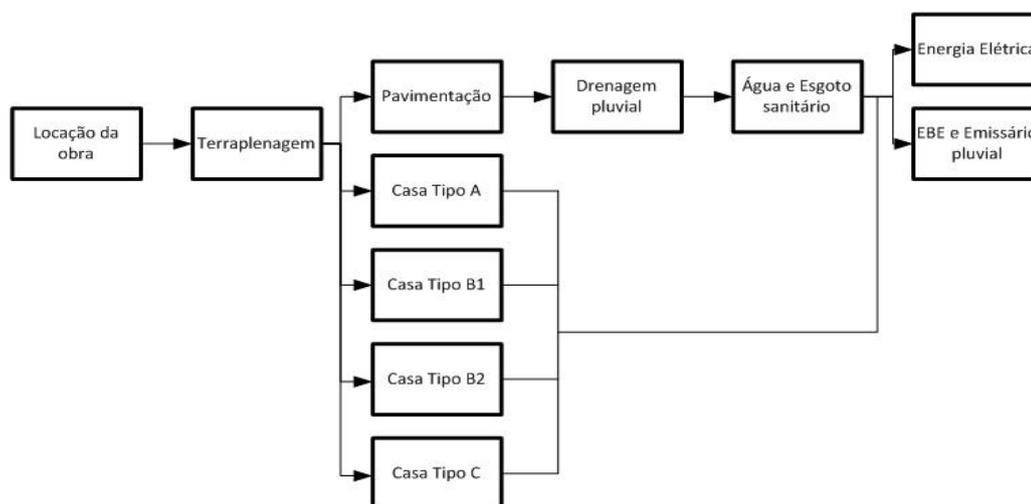


Figura 70: diagrama de sequenciamento das atividades do empreendimento M1 para cada fase da obra.

Foi realizado um dimensionamento de recursos para executar cada um dos serviços relacionados à infraestrutura, conforme indicado na Figura 71. As durações das atividades e as quantidades de recursos foram baseadas no plano do empreendimento anterior, que tinha características similares.

Atividade	Recursos			Tempo de ciclo (dias)	Lote de transferência	Atividades precedentes
	Mão de obra	Sub contratada	Equipamentos			
01 Terraplenagem	1 equipe	K	patrola, 3 escavadeiras, 9 caminhões, 2 rolos, caminhão pipa	Variável	Trechos	Locação da obra
02 Pavimentação	1 equipe	K	vibro acabadora, rolo liso, rolo de pneu, caminhão	Variável	Ruas	01
03 Drenagem pluvial e Emissário pluvial	1 equipe	K	retroescavadeira, escavadeira, rolo compactador	Variável	Ruas e trechos	02
04 Água e Esgoto Sanitário	1 equipe	K	retroescavadeira, escavadeira, rolo compactador	Variável	Ruas	03
05 Energia Elétrica	1 equipe	M	caminhão luz	45	Empreendimento	04
24 EBE	A parte	A parte		63	Empreendimento	04

Figura 71: planilha de recursos de produção do empreendimento M1.

Entretanto, a relação dos serviços nas áreas comuns do empreendimento criavam interferências na construção das casas, as quais eram de difícil visualização através da linha de balanço. Parte deste problema se deve ao fato das diferentes divisões de lotes para o planejamento: as casas foram divididas em quadras, enquanto a infraestrutura foi dividida em trechos e ruas. Portanto, para ajudar na compreensão do plano, a modelagem BIM 4D foi utilizada para visualização do empreendimento.

A Figura 72 mostra que, durante a execução das casas da Fase 2, já existiam casas cobertas em áreas em que a atividade de terraplanagem ainda estava em execução (área laranja) ou nem mesmo havia sido iniciada (área branca).

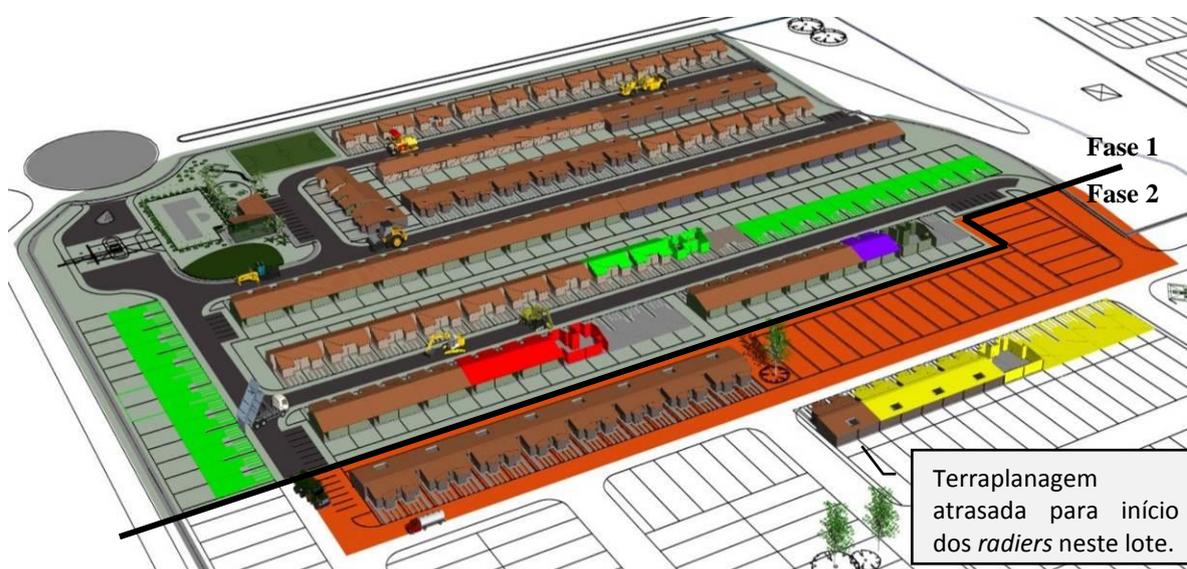


Figura 72: Fase 1 incompleta enquanto a Fase 2 apresenta casas já cobertas. Erros no sequenciamento das atividades de terraplanagem e *radier*.

Além disso, o modelo BIM 4D permitiu a visualização do espalhamento das frentes de trabalho pelo canteiro de obras, consequência da decisão do coordenador de produção em manter o fluxo ininterrupto das equipes de *radier* e paredes de cada tipo de casa.

Na Figura 73, as diversas casas coloridas pelo canteiro representam as frentes de trabalho. É possível perceber que as mesmas não estão concentradas em alguma fase da obra, e sim, espalhadas pelas três etapas do empreendimento. Isso torna o deslocamento das equipes e equipamentos pelos lotes de produção maior, aumentando a quantidade de trabalho em progresso e a parcela de atividades que não agregam valor. Aumenta também a duração das fases, ou seja, o prazo para entrega das casas aos clientes.

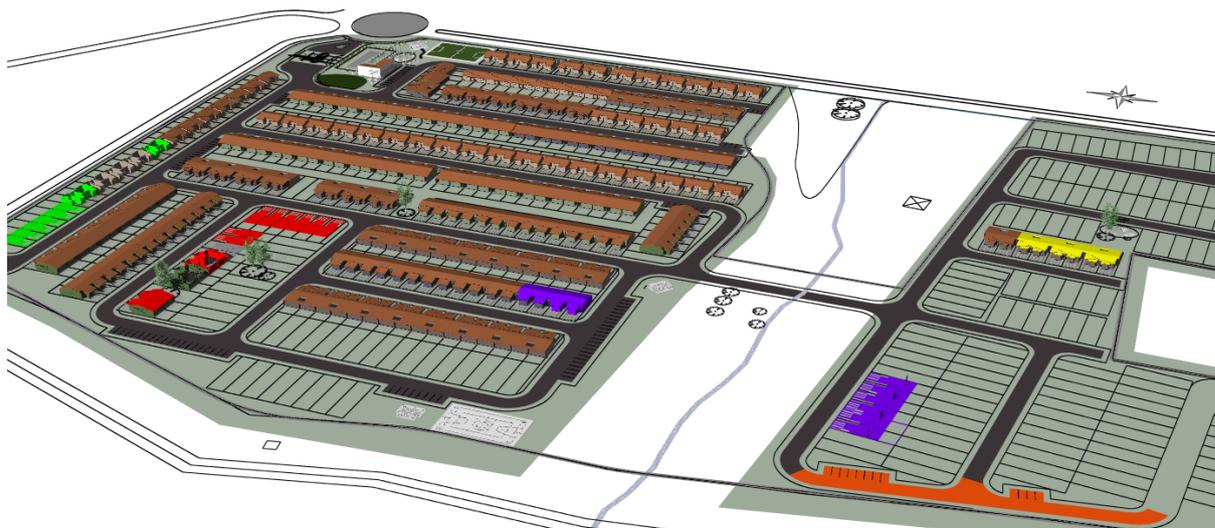


Figura 73: frentes de trabalho em diversas áreas do canteiro.

Apesar de vários problemas detectados no plano de longo prazo do empreendimento M1, a empresa buscou o fluxo ininterrupto nos recursos de formas e equipes, como também o fluxo contínuo de trabalho das atividades consecutivas a atividade de paredes, pois não existe nenhuma folga entre as mesmas, como mostra a Figura 74 das casas tipo C.

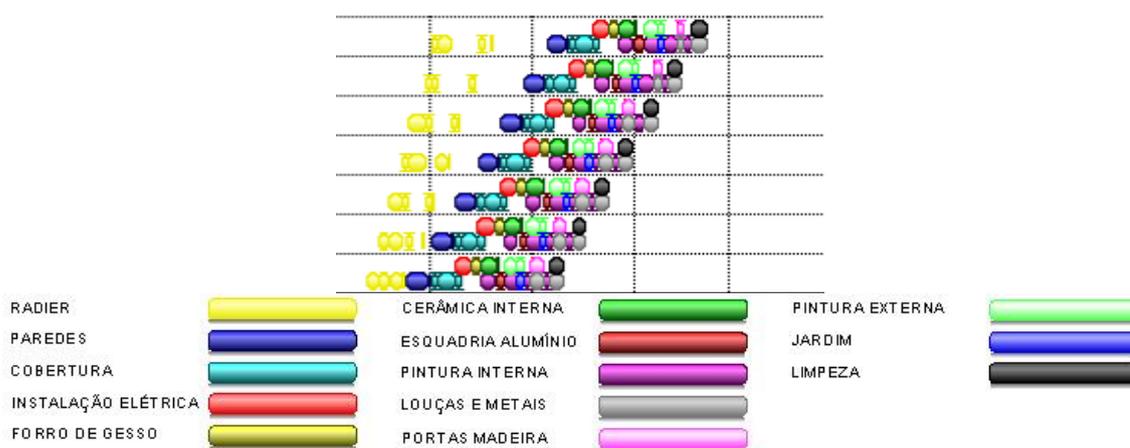


Figura 74: fluxos ininterrupto (processos críticos) e contínuo das atividades das casas tipo C.

Os modelos BIM 4D das unidades base e do empreendimento auxiliaram a explicitar interferências entre a infraestrutura e as casas, a visualização da estratégia de ataque, de trabalho em progresso e de problemas no sequenciamento das unidades base. Em seguida à avaliação do plano de longo prazo, iniciou-se uma série de simulações da estratégia de ataque sugeridas pelos participantes que tentaram melhorar o plano de longo prazo do empreendimento M1, considerando as limitações de recursos de formas para *radier* e paredes.

### 5.3.2 Avaliação de Alternativas de Planos de Longo Prazo

A partir dos problemas identificados, e atendendo às solicitações dos participantes em visualizar o plano modificado, diminuir o deslocamento das equipes e alterar o lote de transferência, foram elaboradas novas simulações 4D para o plano de longo prazo: replanejamento da Fase 1; alteração na estratégia de ataque das casas; e alteração do lote de transferência da atividade de paredes. O foco desses estudos esteve nos processos de *radier*, paredes e cobertura, pois os mesmos eram considerados críticos no empreendimento devido ao alto custo das formas metálicas e a disponibilidade limitada de mão de obra.

No caso da alternativa 1, após a visualização de erros de sequenciamento apresentados na etapa de avaliação, a engenheira de planejamento corrigiu o plano de longo prazo da Fase 1, replanejando-o de forma que houvesse o balanceamento de recursos e fluxo ininterrupto das equipes. Entretanto, foram utilizadas duas equipes a mais nas atividades de locação de instalações de piso no processo do *radier* das casas tipo B1 e B2, o que não seria possível, pois não existiam formas disponíveis para executar o *radier* de duas casas tipo simultaneamente.

A planilha de dimensionamento da capacidade de recursos da Figura 75 mostra as durações das atividades e as equipes necessárias, e sublinhadas, as equipes que foram adicionadas no processo de *radier* para casas B1 e B2.

ALTERNATIVA 1 (planejamento modificado)						
Atividade		Nº de Equipe	Duração	Casa Tipo	Lote de Produção	Lote de Transferência
<b>Radier</b>	Locação e Instalações	1 equipe	4 dias	A e C	Dupla de casas	Dupla de casas
		<u>2 equipes</u>		<u>B1 e B2</u>		
	Forma e Concretagem	1 equipe	3 dias	A, B1, B2 e C		
<b>Paredes</b>		1 equipe	3 dias	A		
			4 dias	B1, B2		
			5 dias	C		
<b>Cobertura</b>	Estrutura	1 equipe	2 dias	A, B1, B2 e C		
	Telhamento	1 equipe	3 dias			

Figura 75: Dimensionamento da Capacidade de Recurso para os Processos Críticos na Alternativa 1.

Na Figura 76, é apresentada a linha de balanço elaborada pela engenheira de planejamento. Está marcada em vermelho a posição de como deveriam ser as sequências das atividades de locação e de instalações do *radier*, para que fosse usada apenas uma equipe por casa tipo. Em

seguida, a engenheira de planejamento corrigiu a precedência das atividades de locação e instalações de piso, voltando a utilizar uma equipe para cada casa tipo B1 e B2.

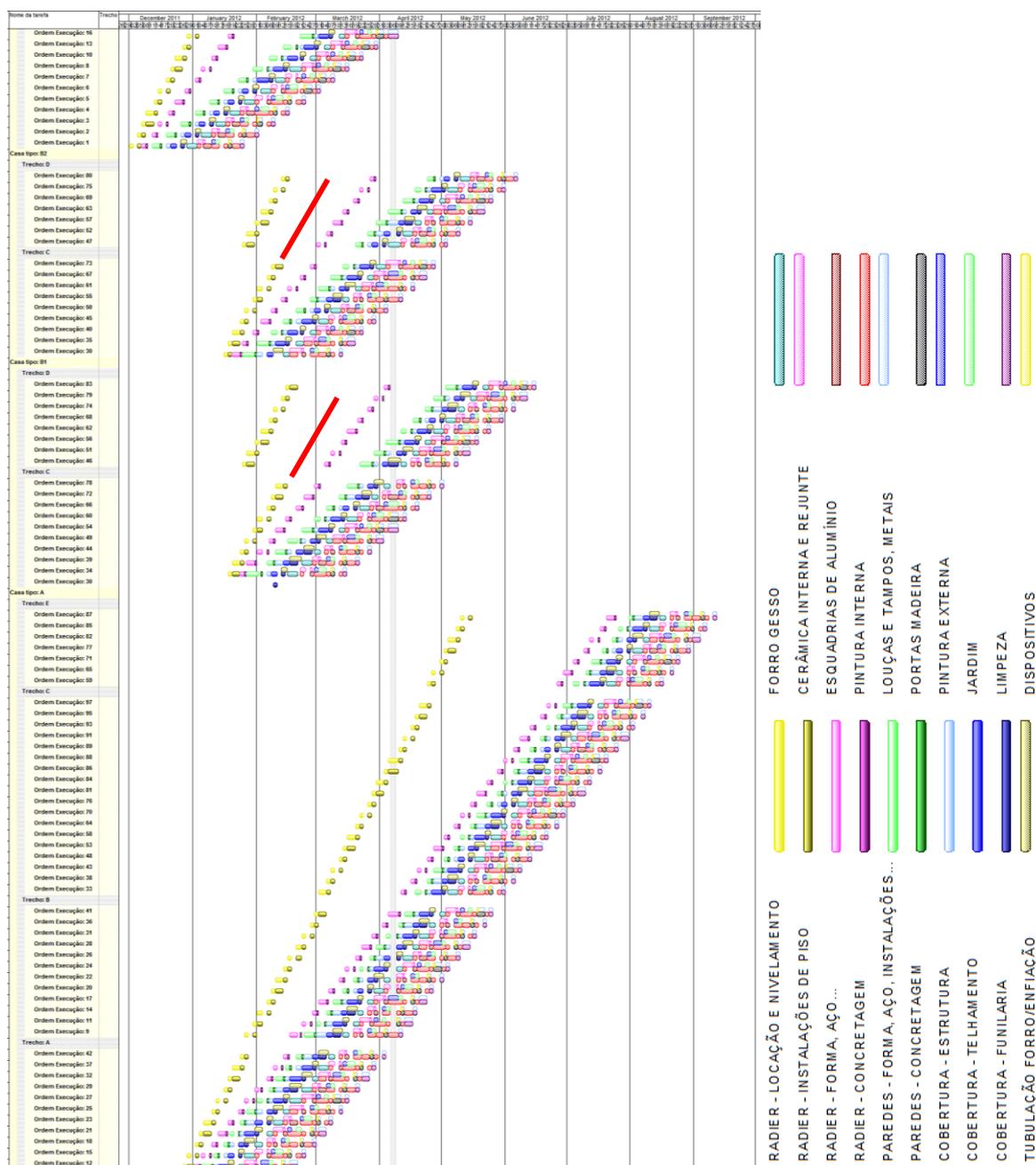


Figura 76: LOB da simulação da Alternativa 1 com duplicação de equipes de *radier* das casas tipo B1 e B2.

A alternativa 2 é uma segunda alteração do plano de longo prazo, sugerida pelo coordenador da produção e elaborada pela pesquisadora. Ela consistiu na modificação da estratégia de ataque do empreendimento visando a reduzir as distâncias percorridas pelas equipes de trabalho que transportavam as pesadas formas metálicas dos *radiers* e paredes pelas unidades de produção. Nessa estratégia foi utilizada apenas uma equipe para as atividades de *radier* e

paredes, e duas equipes para cobertura, como apresentado na planilha de dimensionamento da capacidade de recursos da Figura 77.

ALTERNATIVA 2 (estratégia de ataque diferente)						
Atividade		Nº de Equipe	Duração	Casa Tipo	Lote de produção	Lote de Transferência
<b>Radier</b>		2 equipes	3 dias	A, B1, B2	Dupla de casas	Dupla de casas
			4 dias	C		
<b>Paredes</b>		2 equipes	4 dias	A, B1, B2		
			5 dias	C		
<b>Cobertura</b>	Estrutura	1 equipe	2 dias	A, B1, B2 e C		
	Telhamento	1 equipe	3 dias			

Figura 77: Dimensionamento da Capacidade de Recurso para os Processos Críticos na Alternativa 2.

Um modelo BIM 4D foi gerado com o novo plano de ataque do empreendimento. Neste modelo, as novas trajetórias das formas são apresentadas individualmente para cada casa tipo, a fim de facilitar o entendimento. Na Figura 78, as setas indicam o novo trajeto proposto às equipes.



Figura 78: Estratégia de ataque das unidades base das casas modelo A, B1, B2 e C no modelo BIM 4D.

Após a visualização da modelagem BIM 4D da alternativa 2, os participantes da empresa apreciaram a ideia de alterar o plano de ataque das casas, pois reduziria o esforço dos trabalhadores e o tempo despendido com transporte. As distâncias percorridas na estratégia de ataque elaborada pela empresa seria de 4.996 metros, enquanto que na nova estratégia, essa distância cairia para 3.890 metros; uma diferença de mais de 1,1km de distância a ser percorrida por cada equipe na obra. Essas distâncias foram aferidas no próprio modelo BIM 4D somando-se as distâncias de deslocamentos de uma equipe para cada casa tipo.

Na mesma reunião, os participantes relataram a dificuldade em ter na obra, a constante presença do terceirizado do serviço de cobertura, pois na região metropolitana de Porto Alegre, ele era o único fornecedor de cobertura metálica economicamente viável para o empreendimento. Portanto, novamente o coordenador da produção expressou seu interesse em visualizar como seria ter uma grande quantidade de trabalho disponível para esse terceirizado vir à obra espaçadamente.

Uma solução sugerida pelos participantes foi de modificar o lote de transferência da atividade de paredes, que antes era a dupla de casas, e passou a ser todas as casas de uma quadra. Então, na alternativa 3, alterou-se o tamanho do lote de transferência da execução de paredes visando o fluxo ininterrupto da atividade de cobertura em uma quadra, independente dos tipos de casa que seriam executadas. Como consequência, aumentou o trabalho em progresso entre as atividades de parede e cobertura.

O dimensionamento da capacidade de recursos elaborado para essa simulação é apresentado na Figura 79 e a linha de balanço da Figura 80 mostra o comparativo do aumento do trabalho em progresso pela alteração do lote de transferência, aumentando para 3 meses e meio na quadra C.

<b>ALTERNATIVA 3 (lote de transferência para cobertura = quadra)</b>								
<b>Atividade</b>		<b>Nº de Equipe</b>	<b>Duração</b>	<b>Casa Tipo</b>	<b>Lote de produção</b>	<b>Lote de Transferência</b>		
<b>Radier</b>		1 equipe	3 dias	A, B1, B2	Dupla de casas	Dupla de casas		
			4 dias	C				
<b>Paredes</b>		1 equipe	4 dias	A, B1, B2		Dupla de casas	Quadra	
			5 dias	C				
<b>Cobertura</b>	Estrutura	1 equipe	2 dias	A, B1, B2 e C			Dupla de casas	Dupla de casas
	Telhamento	1 equipe	3 dias					

Figura 79: Dimensionamento da Capacidade de Recursos para os Processos Críticos na Alternativa 3.

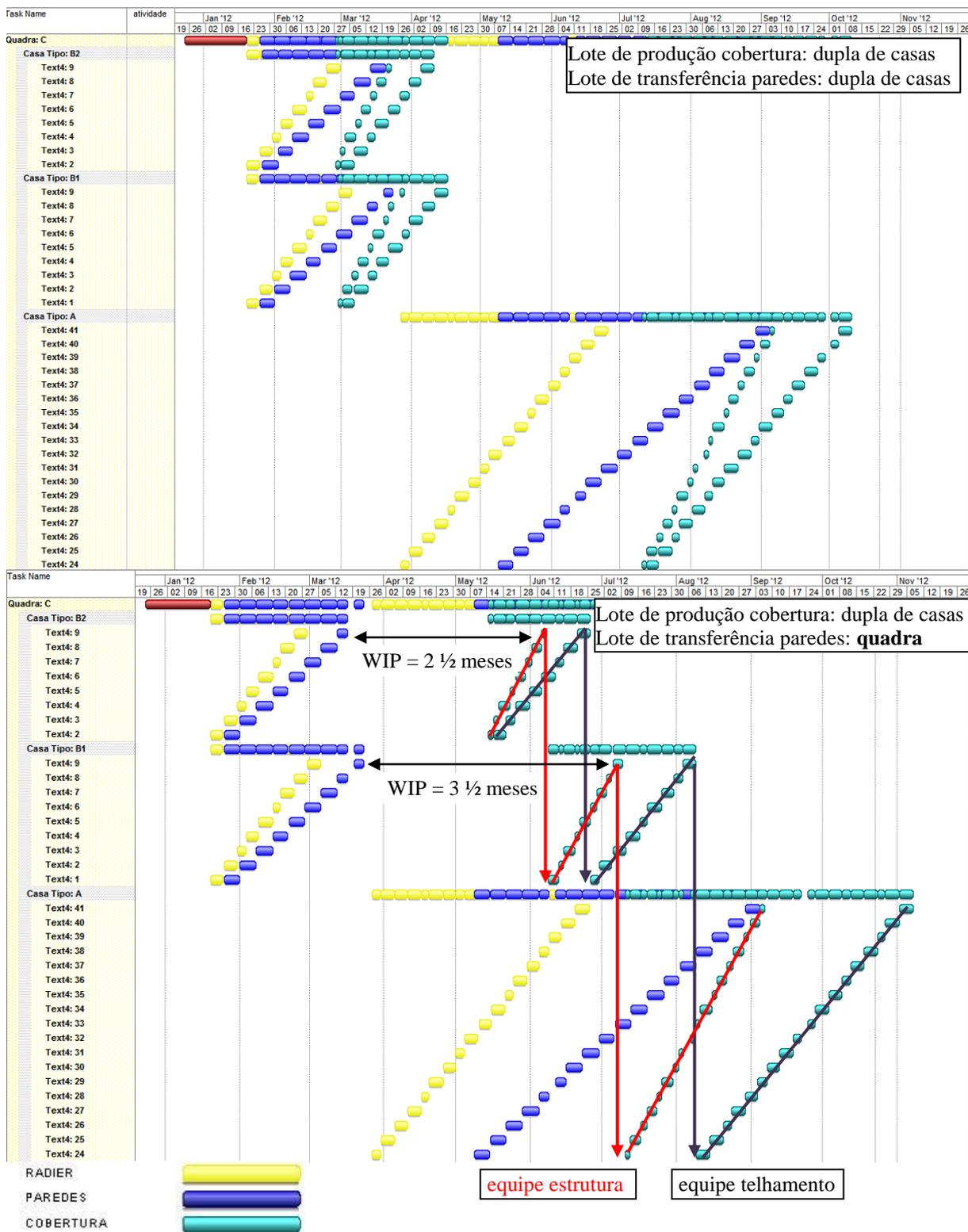


Figura 80: Comparativo do acréscimo de trabalho em progresso pela alteração do lote de transferência simulado na Alternativa 3.

Ao final, os participantes da empresa perceberam que a alteração proposta na alternativa 3 não melhoraria o plano de longo prazo, mas, muito pelo contrário, aumentaria o trabalho em progresso de casas no empreendimento. Para adotar essa alternativa, as casas deveriam ser

produzidas sequencialmente por quadra, independente do tipo de casa. Assim, se evitaria também o espalhamento das casas pelo canteiro, condensaria os recursos de produção em uma só quadra e se completaria a construção das casas de uma fase mais rapidamente, antecipando suas entregas.

### 5.3.3 Modelagem BIM 3D e 4D

A partir da demanda inicial de se avaliar o plano de longo prazo utilizando o modelo BIM 4D, e da experiência adquirida no estudo anterior, a ordem de modelagem foi alterada para: unidade base, empreendimento e canteiro de obras. O processo de modelagem BIM 4D, quando não se tem um modelo BIM 3D pronto, se inicia com a preparação dos arquivos do AutoCAD 2D. O mesmo foi feito ao se apagar os *layers* desnecessários e manter apenas as informações úteis à modelagem BIM 3D, num processo de aproximadamente 40 minutos.

Em seguida, se iniciou a modelagem BIM 3D da unidade base, utilizando a casa modelo A. Dessa vez, foram modelados de uma só vez os detalhes da casa, como a parede em concreto armado autoadensável, uma camada de massa mista, pintura 1ª demão, 2ª demão para as paredes internas, e uma camada de textura para paredes externas. Foram modelados os *radiers*, pisos cerâmicos, as janelas de alumínio, as portas de madeira, os forros de gesso, pintura dos forros, telhado e os jardins. Todo o processo de modelagem BIM 3D da casa A levou 3h45min.

Terminada a modelagem da unidade base, a pesquisadora iniciou a modelagem do empreendimento todo. Para isso, modelou em BIM 3D, apenas os *radiers*, as paredes externas e o telhado das casas. Essa decisão se baseou no fato de que para estudar a estratégia de ataque do empreendimento, seria necessário focar nesses processos, considerados críticos e visíveis na escala do empreendimento. Já as atividades internas às casas não foram modeladas para o empreendimento. Algumas atividades de infraestrutura do canteiro foram modeladas, como as áreas de terraplanagem, ruas e áreas de recreação.

O tempo total de modelagem dos 4 modelos de casa (A, B1, B2 e C) foi de 2 horas. Após as modelagens, as casas foram importadas no *software* SketchUp, no qual eram componentes que foram copiados continuamente e locados sobre a implantação do empreendimento. Cada dupla de casa tinha seu próprio *layer*, o que facilitou muito na criação do modelo BIM 4D. Todo o processo de modelagem BIM 3D do empreendimento levou 5h13min.

Com os modelos prontos, a pesquisadora iniciou a preparação dos arquivos do MSProject para a modelagem BIM 4D. No caso do arquivo para a unidade base, as atividades tinham o mesmo nome dos *sets* do modelo BIM 4D. Os *sets* foram criados dentro do Navisworks Manage 2012 e, por meio de uma regra do programa, foi possível ligá-los automaticamente às atividades do plano.

Já no caso do modelo BIM 4D do empreendimento, as datas de início de *radier* e término da cobertura foram adicionadas às atividades que tinham como nome, o próprio número da casa. Assim, os nomes das atividades eram iguais aos nomes dos *layers* do modelo 3D do empreendimento. Novamente, aplicando uma regra do *software* de modelagem BIM 4D, foi possível conectar automaticamente os *layers* às atividades. Todo o processo de preparação dos arquivos do MSProject e sua ligação dentro do modelo BIM 4D levou 18 minutos.

O modelo BIM 4D do empreendimento apresentava uma cor para cada casa tipo, sendo elas verde para casa modelo A, vermelho para casa tipo B1, roxo para casa tipo B2 e amarelo para casa tipo C. Com os modelos BIM 4D prontos, houve a geração de vídeos em formato avi que durou 10 minutos, totalizando 12,1 horas de trabalho (Figura 81). Um dos motivos para a criação dos vídeos, além de ser um produto entregue às empresas, foi o fato de ter sido uma alternativa à dificuldade na visualização 4D pela ausência de placa de vídeo no computador da pesquisadora.

<b>Atividade</b>	<b>Tempo</b>
Preparação de arquivos do AutoCAD	40 min
Modelagem detalhada em BIM 3D da CASA A	3h45min
Modelagem BIM 3D das casas	2h
Modelagem BIM 3D do Empreendimento	5h13
Preparação dos arquivos do MSProject para o modelo BIM 4D	18 min
Geração de vídeos	10 min
<b>TOTAL</b>	<b>12,1h</b>

Figura 81: Quadro de duração das atividades do processo de modelagem 4D do empreendimento M1.

A pesquisadora então percebeu, após assistir a visualização 4D, que a análise por meio do modelo estava comprometida pela falta de distinção entre as atividades de *radier*, paredes e cobertura, afinal, as casas apareciam em execução contínua iniciando no *radier* e findando no serviço de cobertura, mas sem ser possível verificar qual das três atividades estava realmente acontecendo (Figura 82-1).

Em seguida, a pesquisadora alterou os *layers* do modelo 3D do SketchUp, distinguindo os elementos de *radier*, paredes e cobertura modelados (Figura 82-2). No arquivo do MSProject que é utilizado no Autodesk Navisworks Manage, novas atividades foram inseridas com os mesmos nomes do *layers* do arquivo do SketchUp. No modelo BIM 4D, após atualizados ambos arquivos, a regra de ligação entre geometria e atividade foi aplicada novamente, alterando o modelo.

A simulação da modificação do plano de longo prazo da Fase 1 foi elaborada em conjunto com a engenheira de planejamento, que corrigiu os principais problemas na precedência das atividades, conseguindo linhas de balanço equilibradas. Essa alteração no fluxo de trabalho das equipes na linha de balanço do empreendimento, teve suas datas copiadas para um novo arquivo MSProject e utilizado no modelo BIM 4D. A simulação da alternativa 2, no qual houve a alteração da estratégia de ataque, também foi gerada com alteração do arquivo do MSProject, porém, com autoria da pesquisadora.

Na simulação da alternativa 3, além de haver modificação no arquivo do MSProject, houve a decomposição no modelo BIM 4D da atividade de cobertura em dois serviços: estrutura metálica e telhamento. Neste caso, não houve necessidade de detalhar o modelo BIM 3D, pois a geometria 3D da cobertura foi utilizada para representar as duas novas atividades, logo que o *software* de modelagem BIM 4D permite o uso de uma mesma geometria para se referir a diversas atividades (Figura 82-3).

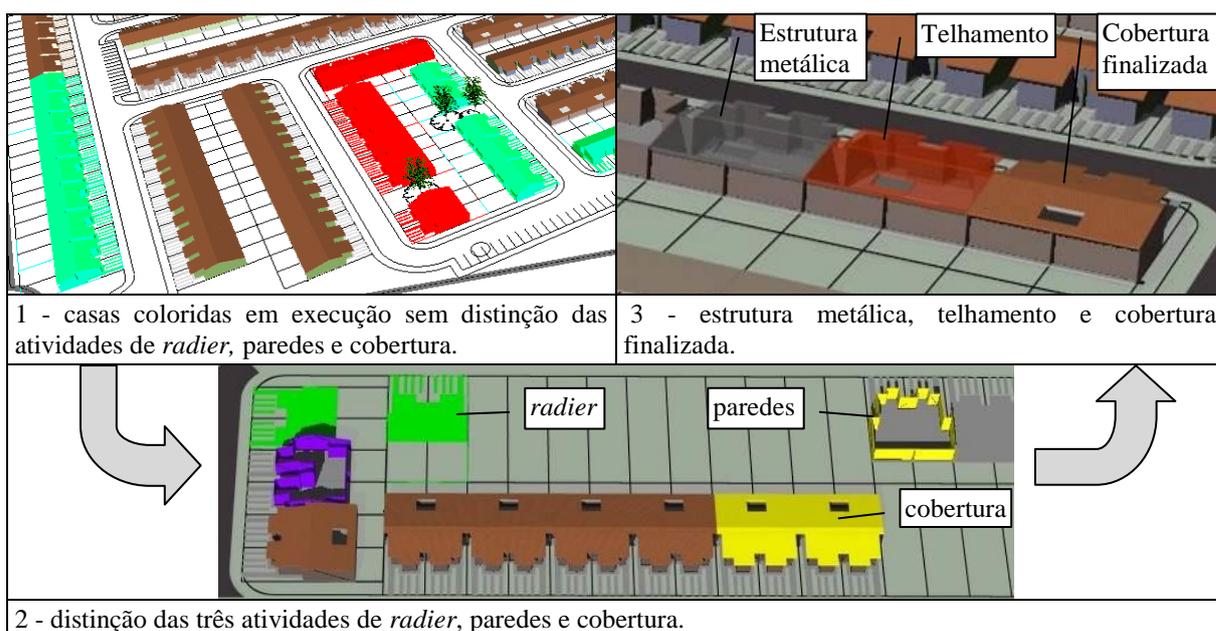


Figura 82: alterações de detalhamento no modelo BIM 4D ao longo do estudo empírico 3.

### 5.3.4 Considerações Finais do Estudo Empírico 3

No estudo empírico 3, o plano de longo prazo do empreendimento M1 teve duas unidades de análise: unidade base e o próprio empreendimento. O modelo BIM 4D da unidade base se mostrou limitado para o propósito de encontrar erros de planejamento nas 514 casas individualmente. É aconselhável o estudo da sequência executiva da unidade base em uma única casa focando na busca por uma rede de precedência adequada, considerando a capacidades dos recursos, durações das atividades e suas possíveis interferências.

Já o modelo BIM 4D do empreendimento contribuiu para encontrar erros de sequenciamento das atividades de *radier*, paredes e alvenaria. Apesar disso e de ser uma boa ferramenta na visualização da estratégia de ataque, eles mostraram ser limitados na mensuração de diferenças de prazo total da obra, de trabalho em progresso, ou de duração das atividades entre as alternativas de planos. Isso fez com que a pesquisadora trabalhasse sempre em conjunto com demais ferramentas que auxiliaram na comparação das alternativas simulados (linha de balanço, MSProject, entre outras).

## 5.4 ESTUDO EMPÍRICO 4

No estudo empírico 4, realizado no empreendimento N1, a pesquisadora explorou o uso da modelagem BIM 4D na elaboração do projeto do sistema de produção, testando cinco cenários diferentes de estratégia de ataque do empreendimento.

### 5.4.1 Elaboração do PSP

A elaboração do PSP iniciou com reuniões entre a equipe de pesquisa e os seguintes representantes da empresa N: engenheiro de produção, diretor da empresa e engenheiro de obra. Nessas reuniões, foi definida a sequência de execução para unidade base representada na Figura 83. A sequência inicial apresentada pela empresa foi modificada, quando se elaborou uma primeira linha de balanço do bloco de apartamentos, Nesta oportunidade foram discutidas em mais detalhe as atividades críticas e a possibilidade de alteração da ordem de execução.

Esta rede de precedência foi aplicada em dois tamanhos de lote de produção, dependendo do bloco. Foi definido que os blocos C, F e I teriam o lote de meio pavimento para execução das

atividades de laje e alvenaria, enquanto os demais blocos teriam o lote como o pavimento inteiro, como mostra a Figura 84.



Figura 83: Diagrama de precedência do empreendimento N1.

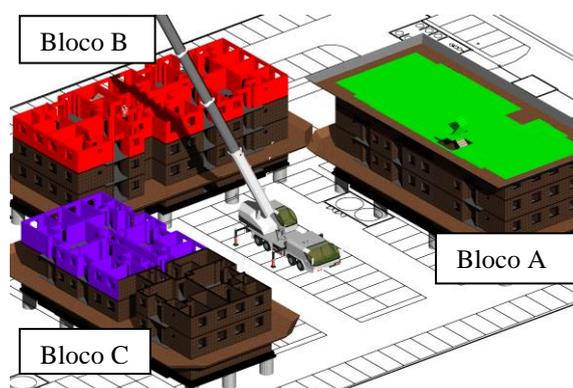


Figura 84: Lote dos Blocos A e B = pavimento (verde e vermelho); Lote do Bloco C = meio pavimento (roxo).

A partir da definição da sequência executiva das atividades da unidade base, foi realizado um pré-dimensionamento dos tempos de ciclo e os lotes de produção e de transferência para torre, como mostra a Figura 85.

Definidos a sequência de execução, a duração das atividades e os lotes de produção e de transferência da unidade base, que variam em alguns blocos, principiou-se a elaboração das linhas de balanço para se estudar os fluxos de trabalho. Elaborada em conjunto com os engenheiros de obra e de produção, as LOBs tem *buffers* entre as atividades do caminho crítico para proteger as atividades seguintes de possíveis atrasos na produção, como mostra a Figura 86. Somando os dias em que os pavimentos não recebem nenhuma atividade (trabalho em progresso) por toda torre, são 100 dias num total de 335 dias úteis de construção da torre.

Atividade		Tempo de ciclo (dias)	Mão de obra	Lote de produção	Lote de transferência	Atividades precedentes
01	Estacas	15	1 equipe	bloco	bloco	locação da obra
02	Vigas Baldrame	20	1 equipe	bloco	bloco	01
03	Contrapiso	10	1 equipe estaca	pavimento	pavimento	02
03	Laje	10	1 equipe	pavimento ½ pav (bloco c, f e i)	pavimento ½ pav (bloco c, f e i)	04
04	Alvenaria	10	1 equipe	pavimento ½ pav (bloco c, f e i)	pavimento	03
05	Tub. Água e Esgoto	15	1 equipe	pavimento	pavimento	04
06	Reboco	10	1 equipe	pavimento	pavimento	05
07	Impermeabilização banheiro	10	1 equipe	pavimento	pavimento	06
08	Azulejo banheiro	10	1 equipe	pavimento	pavimento	07
09	Janelas alumínio	5	1 equipe	pavimento	pavimento	07
10	Revestimento Gesso	10	1 equipe	pavimento	pavimento	09
11	Fiação	10	1 equipe	pavimento	pavimento	08
12	Forro de gesso	10	1 equipe	pavimento	pavimento	11
13	Piso Customizado	5	1 equipe	2 pavimentos	2 pavimentos	10
14	1ª demão de tinta	15	1 equipe	2 pavimentos	2 pavimentos	10
15	Piso banheiro	5	1 equipe	pavimento	pavimento	14
16	2ª demão de tinta	15	1 equipe	2 pavimentos	2 pavimentos	14
17	Elevador	40	1 equipe	8 pavimentos	pavimento	12
18	Pintura Acabamento	15	1 equipe	2 pavimentos	2 pavimentos	16
19	Tanque	5	1 equipe	2 pavimentos	pavimento	16
20	Louças e metais	5	1 equipe	2 pavimentos	2 pavimentos	16
21	Portas internas	5	1 equipe	pavimento	pavimento	15
22	Interruptores e tomadas	5	1 equipe	pavimento	pavimento	21
23	Piso de circulação	5	1 equipe piso customizado	3 pavimentos	3 pavimentos	22
24	Revisão apartamento	5	1 equipe	pavimento	pavimento	22
25	Piso escadaria	5	1 equipe piso customizado	4 pavimentos	4 pavimentos	23
26	Pintura escada	5	1 equipe pintura 1ª demão	3 pavimentos	pavimento	25
27	Corrimão escada	5	1 equipe	4 pavimentos	3 pavimentos	26
28	Pintura circulação	5	1 equipe pintura 2ª demão	3 pavimentos	pavimento	27

Figura 85: Planilha de capacidade dos recursos de produção da torre do empreendimento N1.

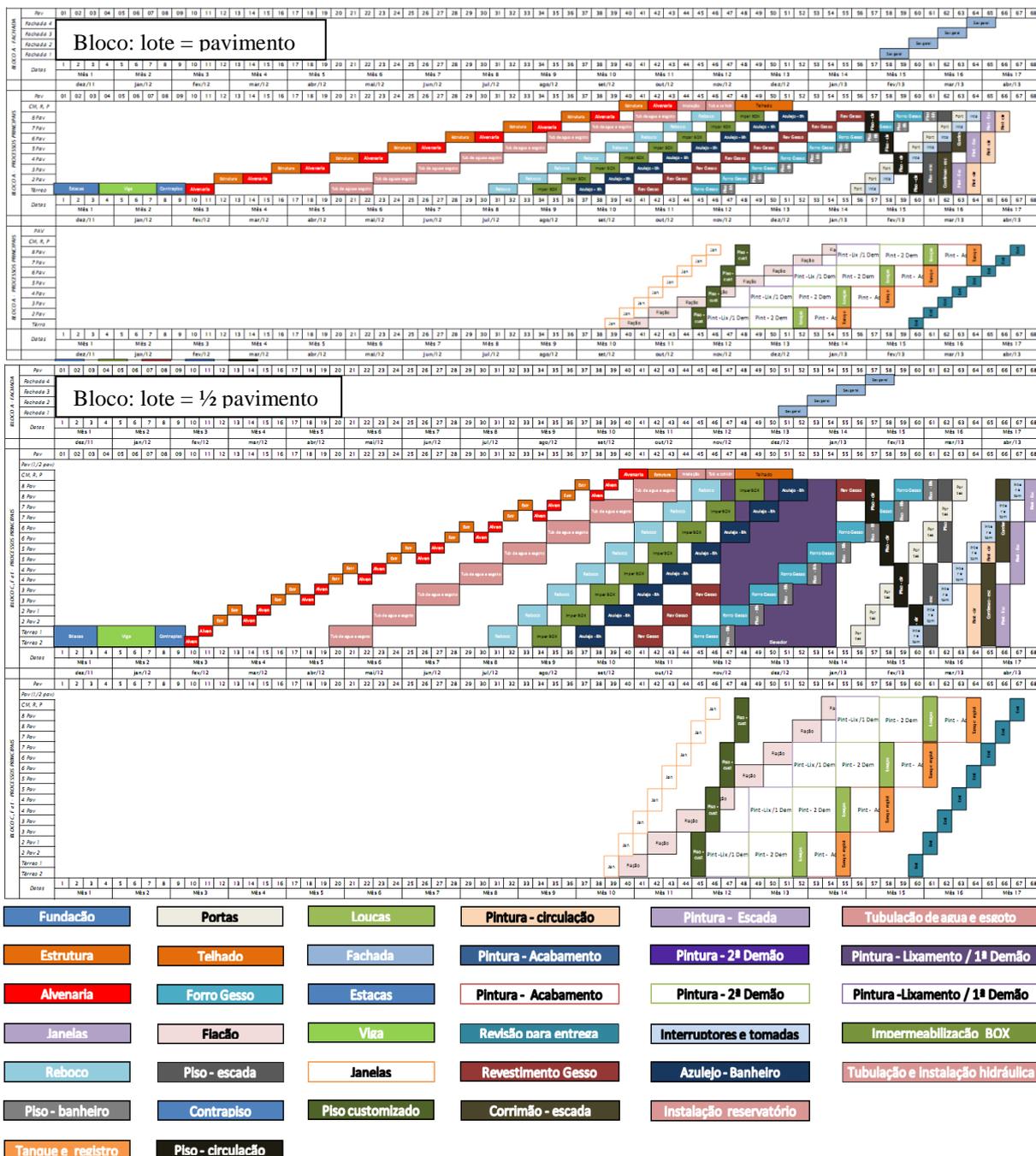


Figura 86: Linhas de Balanço de um Bloco cujo lote é um pavimento, e dos Blocos C, F e I, cujo lote é meio pavimento.

A partir da linha de balanço, a pesquisadora gerou um histograma de recurso de mão de obra com foco nas equipes necessárias à realização da torre de apartamento, cujo lote de produção era igual ao pavimento (Figura 87).

Em seguida, iniciou um estudo sobre equipamentos, instalações, organização e logística de canteiro com os participantes da empresa N. Esta etapa de decisão não está explicitada no modelo de Schramm (2009), porém considerou-se benéfico o seu detalhamento pela

importância e impacto nas demais decisões do PSP, além de ter sido uma preocupação do diretor da empresa por tratar de equipamentos de alto custo para locação.

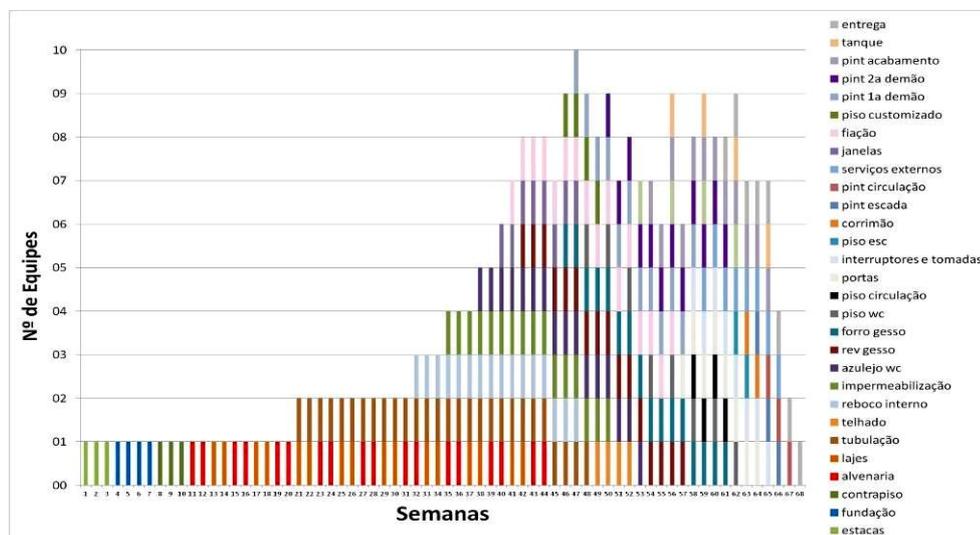


Figura 87: histograma de recursos de equipes para torre com lote de produção igual ao pavimento.

Por meio do modelo BIM 3D do empreendimento, foram modeladas as bandejas de segurança primárias e secundárias, sendo detectadas as interferências entre estas em alguns blocos do empreendimento, como mostra a Figura 88. Essa informação foi passada aos projetistas das bandejas metálicas de segurança para a empresa N.

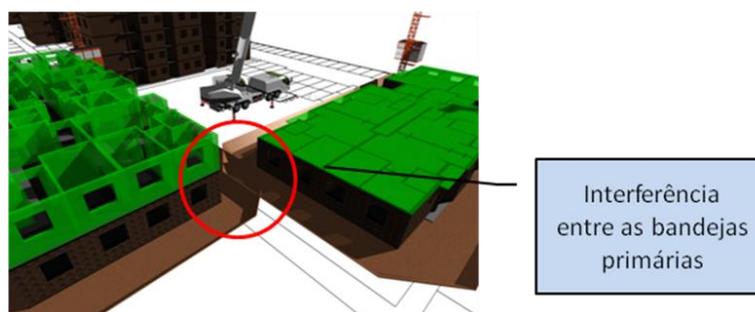


Figura 88: Interferência entre bandejas primárias no empreendimento N1.

Logo depois, procurou-se definir o equipamento de transporte vertical de materiais mais adequado para o empreendimento. Para tanto, foi feito um estudo comparativo entre as opções disponíveis no mercado. Cogitou-se utilizar o manipulador telescópico, porém os modelos disponíveis na Região Metropolitana de Porto Alegre atingiam até o quarto pavimento e estavam indisponíveis para locação.

Também se pensou no uso de elevador cremalheira desde o início da obra. Mas o mesmo não se mostrou adequado para o transporte de malhas de ferragem para armação das lajes, pois essas tinham tamanho superior à área do elevador. Para adequar o tamanho das malhas para que elas coubessem na cabine do elevador, seria necessário alterar o projeto estrutural. Outro motivo para o descarte do elevador cremalheira foi sua limitação no fornecimento de material para pavimentos com dois lotes de produção, pois, enquanto em um lote o concreto da laje estivesse em cura, no outro lote se erguia a alvenaria, e essa sincronia das atividades não permite a passagem de materiais do lote onde está a cremalheira ao outro (Figura 89).

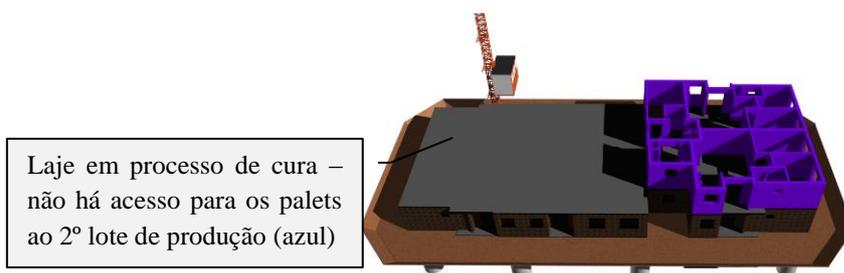


Figura 89: impossibilidade do uso da cremalheira para blocos com dois lotes de produção.

Então, se optou em utilizar o elevador cremalheira a partir do início das atividades internas ao pavimento, ou seja, a partir da atividade de reboco. O uso do modelo BIM 4D possibilitou o estudo da instalação dos equipamentos em locais que não interferissem na rotação da haste dos caminhões guindaste, e nas áreas de carga, patolagem<sup>12</sup> e descarga do empreendimento. Por fim, decidiu-se locar os elevadores nas varandas dos pavimentos mais próximas às ruas internas do empreendimento (Figura 90).

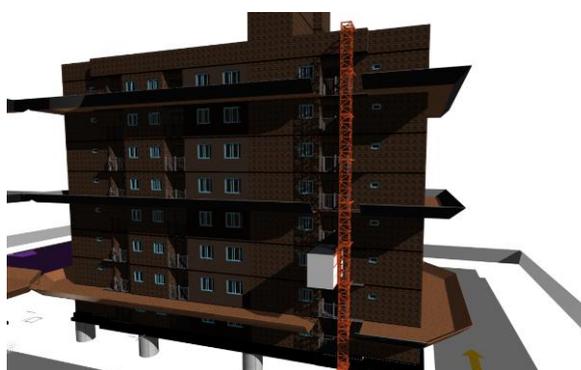


Figura 90: localização do elevador cremalheira no edifício do empreendimento N1.

<sup>12</sup> Patolagem é um termo utilizado em obra para descrever o processo de nivelamento e estabilização do caminhão guindaste antes de se iniciar sua operação, que utiliza suportes compostos de vigas e sapatas, as quais levantam todo o caminhão do chão, inclusive os pneus.

O diretor e o engenheiro de produção da empresa haviam cogitado o uso da grua, que foi descartado pelo seu alto custo. Ao mesmo tempo em que se estudava a locação das cremalheiras, cogitou-se o uso de caminhões guindaste, pois os mesmos viriam à obra apenas nos dias em que fosse necessário erguer materiais. Entretanto, como o subcontratado responsável pela execução das lajes havia disponibilizado um caminhão guindaste tipo munk para içar materiais até o quarto pavimento, portanto, o caminhão guindaste de maior alcance seria utilizado para transporte de materiais a partir do quinto pavimento até a cobertura.

Para estimar quantas vezes seria necessária a presença do caminhão guindaste na obra, se fez um estudo do tempo de carregamento dos pavimentos na unidade base para os processos críticos de laje e paredes. Para isso, se utilizou o quantitativo do modelo BIM 3D (Figura 91) para extrair as áreas de blocos cerâmicos e volume de laje, e assim, estimar a quantidade de pallets de blocos cerâmicos, argamassa e ferragem que seria necessária à execução das atividades de lajes e paredes.

Laje			
Área Líquida	Área Bruta	Volume	Perímetro
373,37 m <sup>2</sup>	381,53 m <sup>2</sup>	37,34 m <sup>3</sup>	104,93

Paredes							
Propriedades de Base			Volumes			Superfície	
Estilo	Comprimento	Largura	Altura	Volume bruto	Volume líquido	Área - face bruta à esquerda	Área - face bruta à direita
Revestimento de Tijolo (var.)	5,91	0,15	2,60	2,21 m <sup>3</sup>	2,21 m <sup>3</sup>	14,33 m <sup>2</sup>	14,72 m <sup>2</sup>
Revestimento de Tijolo (var.)	1,60	0,15	2,60	0,65 m <sup>3</sup>	0,65 m <sup>3</sup>	4,16 m <sup>2</sup>	4,55 m <sup>2</sup>
Revestimento de Tijolo (var.)	1,63	0,15	2,60	0,67 m <sup>3</sup>	0,67 m <sup>3</sup>	4,24 m <sup>2</sup>	4,63 m <sup>2</sup>
Revestimento de Tijolo (var.)	1,76	0,15	2,60	0,69 m <sup>3</sup>	0,40 m <sup>3</sup>	4,19 m <sup>2</sup>	4,58 m <sup>2</sup>
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
<b>TOTAL</b>				<b>154,83 m<sup>3</sup></b>	<b>135,70 m<sup>3</sup></b>	<b>737,73 m<sup>2</sup></b>	<b>741,90 m<sup>2</sup></b>

Figura 91: quantitativo extraído do modelo BIM 3D para atividade de lajes e paredes.

Em seguida, calculou-se quantas vezes deveriam ser içados os materiais somando o tempo que a haste telescópica do guindaste transportaria os materiais até os pavimentos. Por fim, se somar o tempo de patolagem do caminhão guindaste no canteiro com o total de minutos para carregar o pavimento mais alto, o nono, levaria aproximadamente 220 minutos (Figura 92).

Considerando que o caminhão guindaste iria fornecer materiais para quatro torres simultaneamente, e se todas elas estivessem com execução no nono pavimento mais o tempo de patolagem, toda ação levaria oito horas e 40 minutos de uso do caminhão guindaste (aproximadamente 100min x 4 torres + 120min patolagem = 8h40m). Conforme informações obtidas na empresa, as empresas na região de Porto Alegre normalmente estipulam o mínimo de 10 horas diárias do uso do caminhão guindaste. Portanto, em apenas um dia, seria suficiente para carregar o nono pavimento de quatro torres simultaneamente. Essa estratégia

de aproveitar ao máximo o uso do equipamento locado no canteiro exige que todo o material a ser transportado aos pavimentos das torres esteja disponível e organizado em sua respectiva área de içamento no dia em que o caminhão guindaste estiver na obra.

Pav	Altura (metros)	Tempo de içamento dos materiais (segundos)	2 blocos/laje (8vz)	2 blocos/paredes (11vz)	Tempo de carregamento do guindaste (19vz)	Total (segundos)	Total (minutos)	Tempo Patolagem (minutos)
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2,7	14	112	154	4560	4826	80,43	120
3	5,4	18	144	198	4560	4902	81,70	120
4	8,1	30	240	330	4560	5130	85,50	120
5	10,8	36	288	396	4560	5244	87,40	120
6	13,5	44	352	484	4560	5396	89,93	120
7	16,2	56	448	616	4560	5624	93,73	120
8	18,9	64	512	704	4560	5776	96,27	120
9	21,6	71	568	781	4560	5909	98,48	120

Figura 92: pré-dimensionamento da capacidade de carregamento dos pavimentos na unidade base pelo caminhão guindaste.

O compartilhamento dos recursos entre as torres do canteiro é influenciado pela própria estratégia de ataque do empreendimento. Como durante o período do estudo ocorria uma desaceleração das vendas de apartamentos em todo país, havia muita incerteza de qual seria o ritmo de venda. Somando-se a isso, havia um constante problema enfrentado pela empresa com a escassez de mão de obra disponível no mercado.

Mediante essa situação de incerteza, foi sugerida a simulação de cinco estratégias de ataque do empreendimento de acordo com a velocidade de venda. Segundo o diretor da empresa, com o fim do “boom da construção”, as vendas esperadas se baseariam no ritmo histórico da empresa, e se continuaria com a estratégia de manter 20% dos apartamentos disponíveis, para vendê-los ao término de sua construção, a um preço entre 20 a 30% mais caros, funcionando como investimento da própria empresa construtora incorporadora. Outra estratégia adotada pela empresa é de iniciar a obra pelas unidades próximas à rua, aos olhos do cliente, para alavancar as vendas dos apartamentos das demais torres.

Então, sabendo da real disponibilidade de uma equipe para alvenaria e outra para executar a laje, no Cenário Pessimista considerou-se duas equipes em sincronia, em dois blocos simultâneos, para um ritmo de vendas abaixo do registrado pela média histórica da empresa.

Considerou-se como Cenário Realista, aquele em que se iniciaria a construção simultânea dos três blocos próximos à rua, seguindo o histórico de venda esperado pela empresa de aproximadamente 112 apartamentos nos meses iniciais da construção. Para esta estratégia de

ataque, a empresa haveria de contratar mais uma equipe polivalente para executar um terceiro bloco sozinha, com dois lotes de produção por pavimento.

Já o Cenário Otimista, se propôs o ataque de cinco blocos simultâneos, no qual o ritmo de venda é acelerado e se produziria para uma demanda observada pela empresa durante o chamado “boom”.

Outros dois cenários foram testados: os mistos. Em um primeiro momento, o Cenário Misto 1 considerou iniciar a obra com o ritmo de venda real, executando três blocos simultaneamente, e posteriormente, a demanda do mercado por apartamentos desaceleraria, diminuindo assim a construção de três para dois blocos concomitantes. Por outro lado, o Cenário Misto 2 iniciaria em ritmo lento, mas esse se aceleraria, passando de 2 blocos por vez, para 3 blocos e por fim 4 blocos simultâneos.

Considerando os diferentes cenários para definir a estratégia de execução, os fluxos de trabalho também se diferenciaram um dos outros. A seguir são apresentadas as linhas de balanço para os cenários Pessimista (Figura 93), Realista (Figura 94), Otimista (Figura 95), Misto 1 (Figura 96) e Misto 2 (Figura 97).

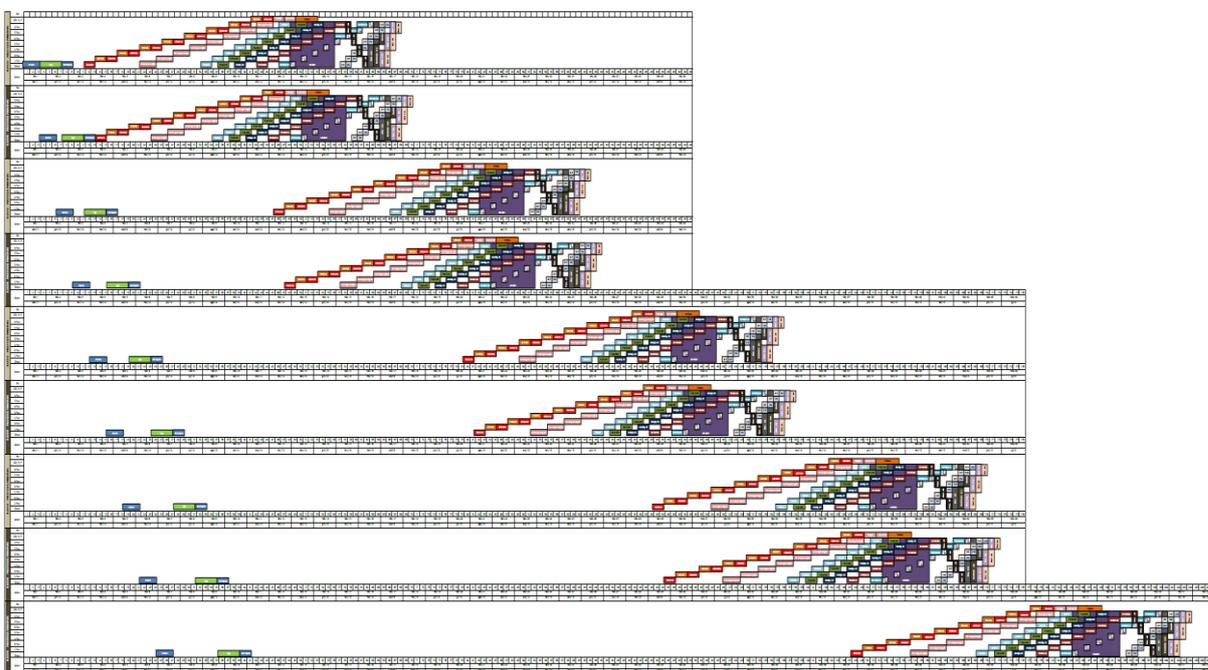


Figura 93: LOB do Cenário Pessimista do Empreendimento N1.

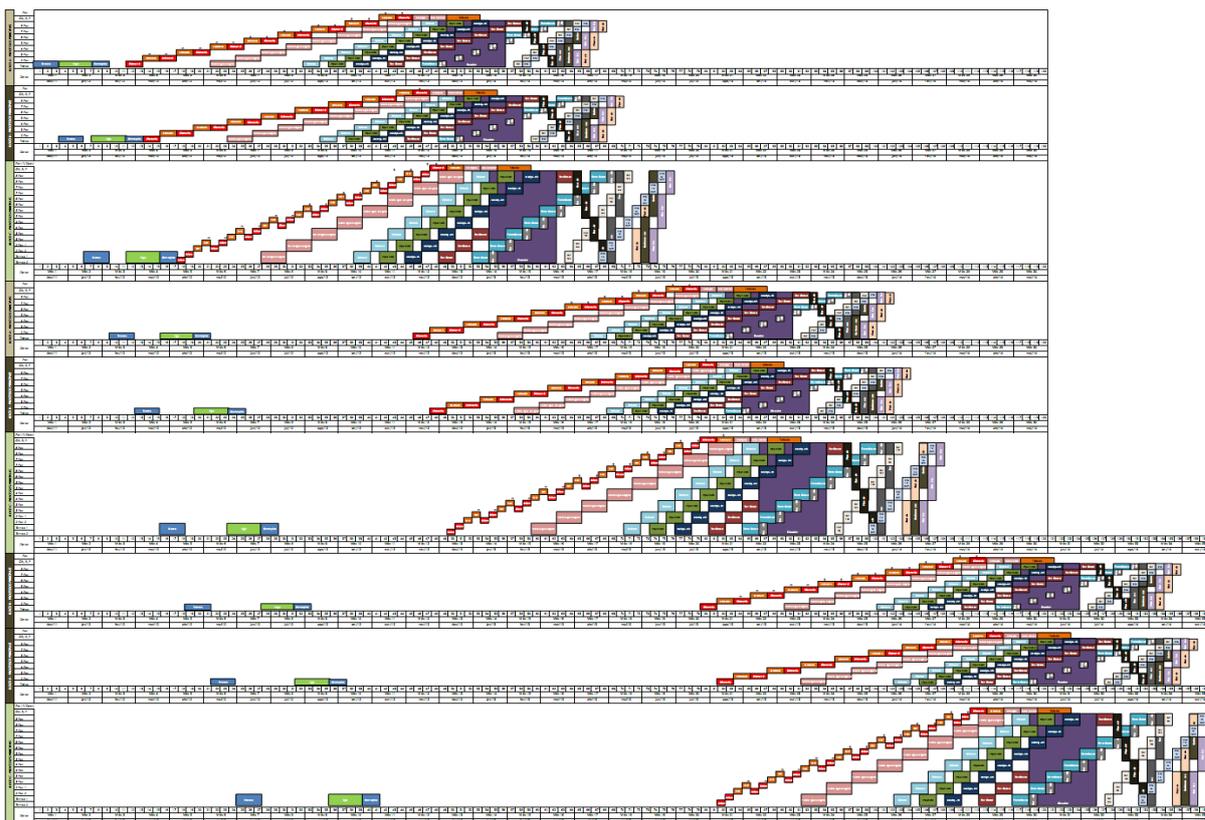


Figura 94: LOB do Cenário Realista para o empreendimento N1.

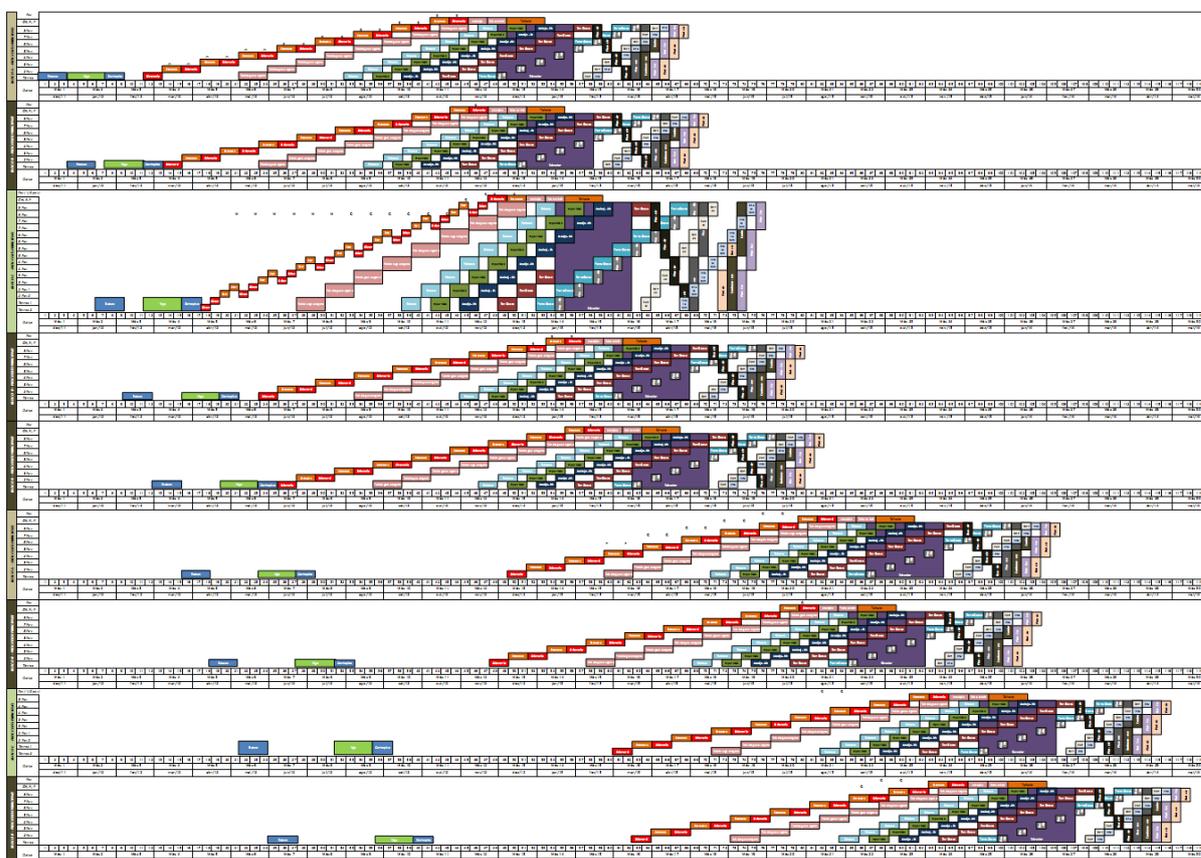


Figura 95: LOB do Cenário Otimista do Empreendimento N1.

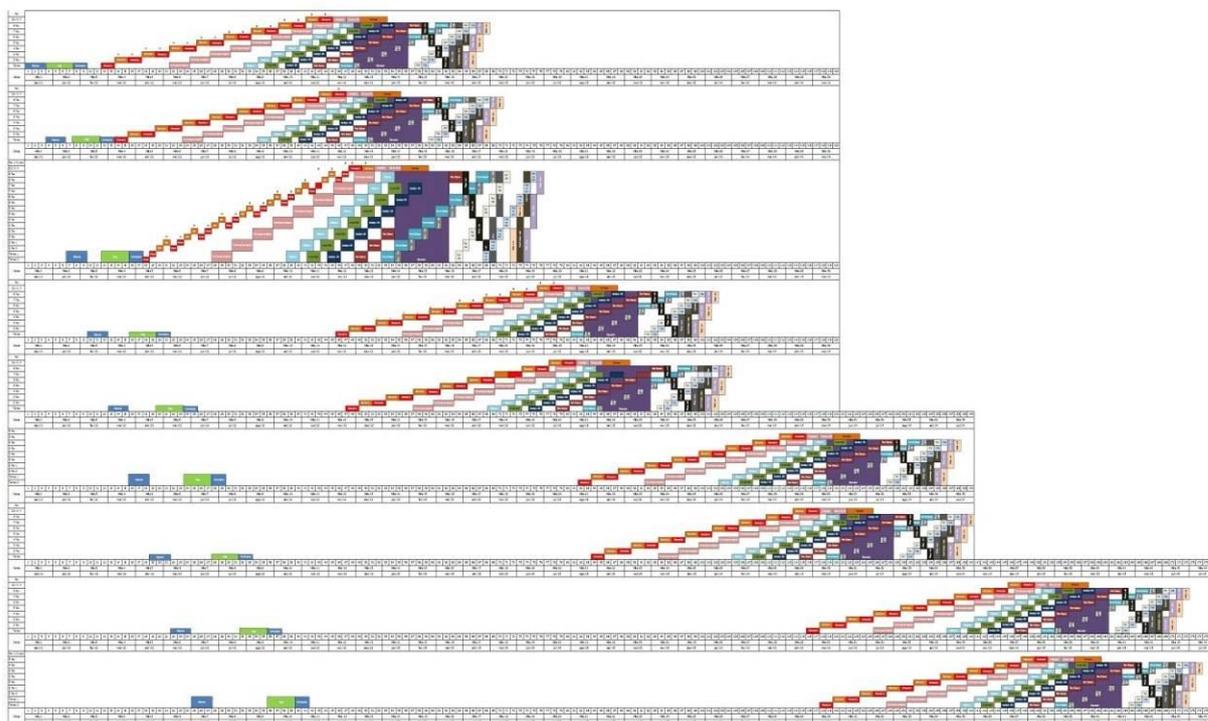


Figura 96: LOB do Cenário Misto 1 do Empreendimento N1.

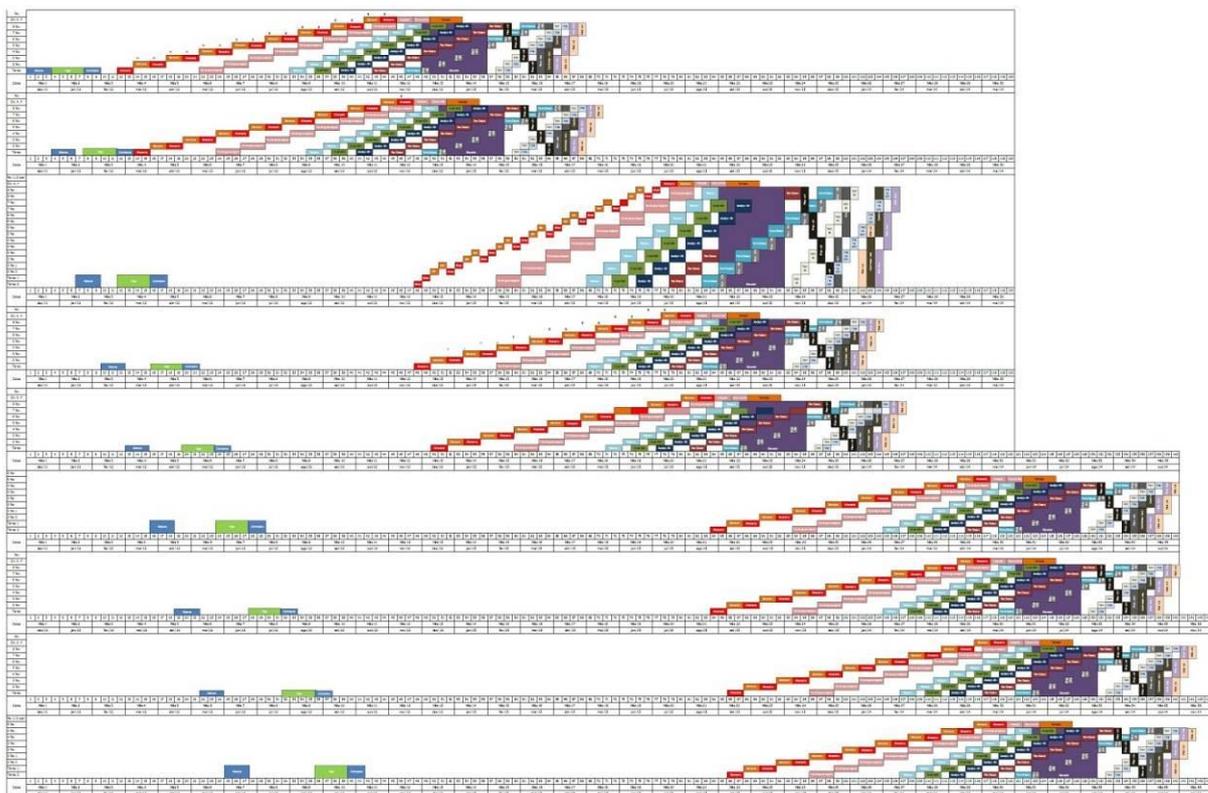


Figura 97: LOB do Cenário Misto 2 do Empreendimento N1.

É importante lembrar que as equipes de alvenaria e estrutura se revezam entre dois blocos em que o lote é o pavimento, enquanto, nos blocos onde o lote é meio pavimento, uma mesma

equipe polivalente executa as atividades de alvenaria e laje. As linhas de balanço de cada cenário foram elaboradas prevendo o aproveitamento dessas equipes, portanto, a alvenaria de um bloco só se inicia após o término da alvenaria do bloco anterior.

O diretor da empresa e o engenheiro de produção se preocuparam com os prazos em cada cenário, pois o tempo de financiamento da Caixa Econômica Federal é de 24 meses para cada bloco. Cada cenário simulado implicou em diferentes prazos de conclusão da obra (Figura 98). A empresa não chegou a definir qual estratégia de ataque iria adotar, apesar de o cenário realista ser o mais provável, uma vez que havia dúvidas sobre a possibilidade de contratação da terceira equipe polivalente.

<b>Cenário</b>	<b>Término do Empreendimento N1</b>	<b>Duração (dias úteis)</b>
<b>Pessimista</b>	Maio de 2016	1065
<b>Realista</b>	Novembro de 2014	720
<b>Otimista</b>	Abril de 2014	590
<b>Misto 1</b>	Agosto de 2015	875
<b>Misto 2</b>	Novembro de 2014	710

Figura 98: Durações de cada cenário simulado para o empreendimento N1.

As linhas de balanço também foram necessárias para se verificar o uso da mão de obra por meio de histogramas de cada cenário simulado. As diferentes estratégias de ataque resultaram em histogramas distintos (Figura 99).

Os histogramas apresentados mostram as diferenças de distribuição da mão de obra ao longo do empreendimento, nos diferentes cenários. É possível perceber que no cenário pessimista, por exemplo, há diversos picos e vales, o que indica a necessidade de contratação e demissão da mão de obra por diversas vezes. Ao contrário, no cenário otimista, há uma menor flutuação das equipes e funções.

No cenário realista, o número máximo de equipes necessárias na obra é 23. No cenário pessimista, o pico beira em 14 equipes, e no cenário otimista, são necessárias 30 equipes. Os cenários misto 1, utilizaria no máximo 20 equipes, e o misto 2, 24 equipes.

É possível perceber também que no cenário otimista, há uma continuidade maior das cores, o que significa que as funções se permanecem ao longo do empreendimento. Nos demais cenários, as cores aumentam e desaparecem com frequência, mostrando que o serviço de uma determinada função não é executado em alguns períodos. É interessante notar nos histogramas

que para manter o aproveitamento das equipes no empreendimento, ou seja, proporcionar o fluxo ininterrupto dos processos críticos de laje e alvenaria, as demais atividades não ocorrem continuamente de um bloco para outro, o que pode ser visto nos diversos vales dos histogramas apresentados. Ou seja, quanto mais próximo for o histograma de recursos de um trapézio, melhor tende a ser o plano da obra no que diz respeito a obter um fluxo ininterrupto das equipes e uma estabilidade no efetivo da obra.

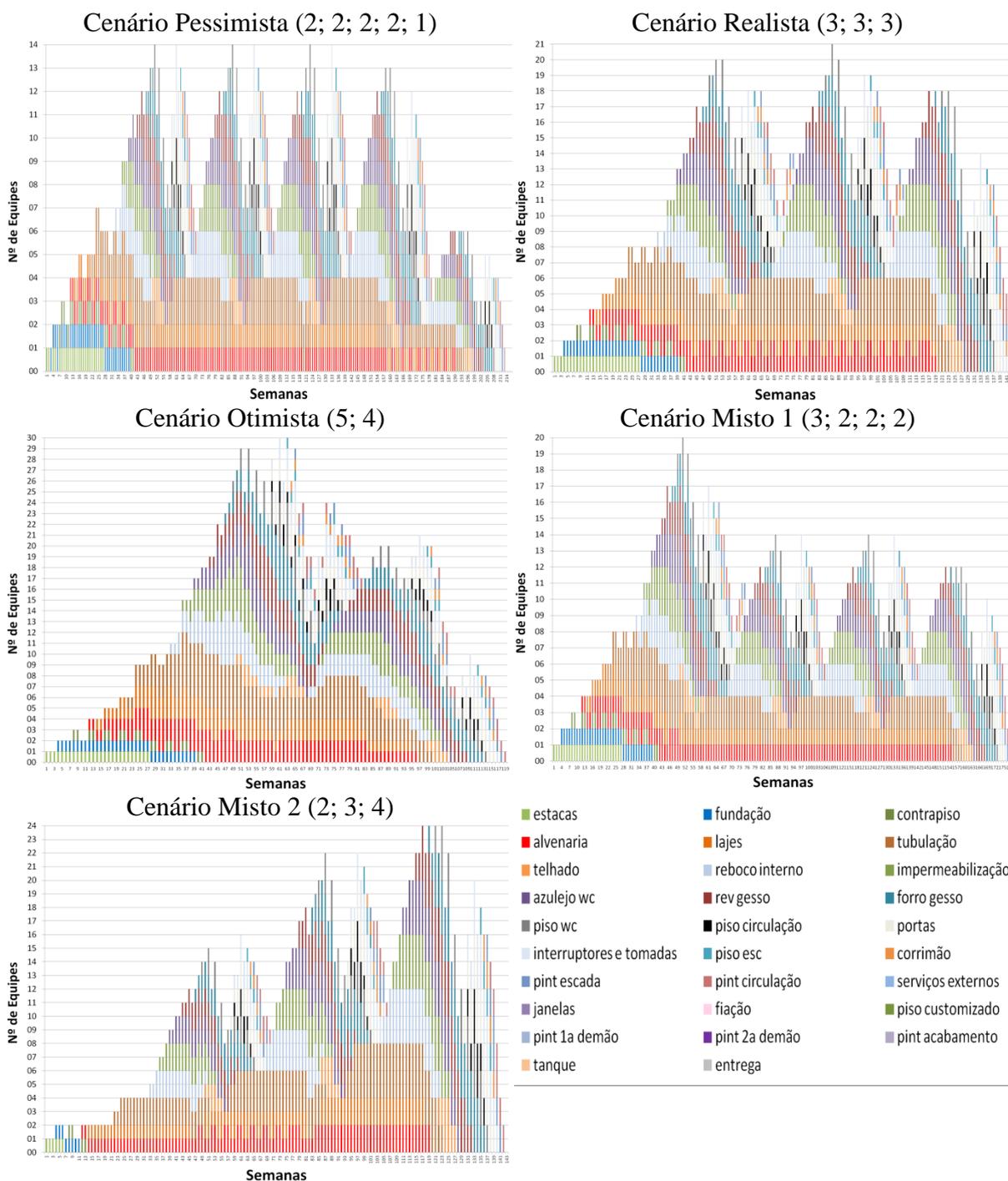


Figura 99: histogramas dos cenários simulados para o empreendimento N1.

Os cinco cenários elaborados tiveram suas estratégias de ataque simuladas nos modelos BIM 4D. Durante as simulações, percebeu-se que a localização dos elevadores cremalheiras deveria mudar a cada cenário para não interferir na movimentação do caminhão guindaste. Essa escolha se deu a partir da visualização 4D do modelo, na qual se buscou o maior raio livre de atuação da haste do guindaste entre os elevadores cremalheiras. Permitia-se, assim, que o caminhão realizasse apenas uma patolagem para fornecer materiais para duas ou três torres simultaneamente (Figura 100).

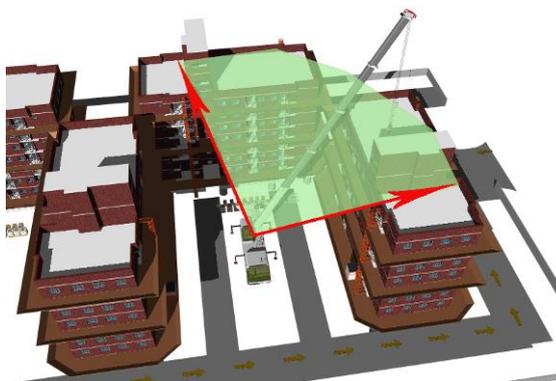


Figura 100: estudo da localização dos equipamentos de transporte vertical – fornecimento de materiais para duas torres simultâneas.

Portanto, a estratégia de ataque do empreendimento influencia diretamente na localização e capacidade dos equipamentos de transporte, bem como no próprio leiaute do canteiro de obras. Devido a isso, cada cenário foi especificado na Figura 101.

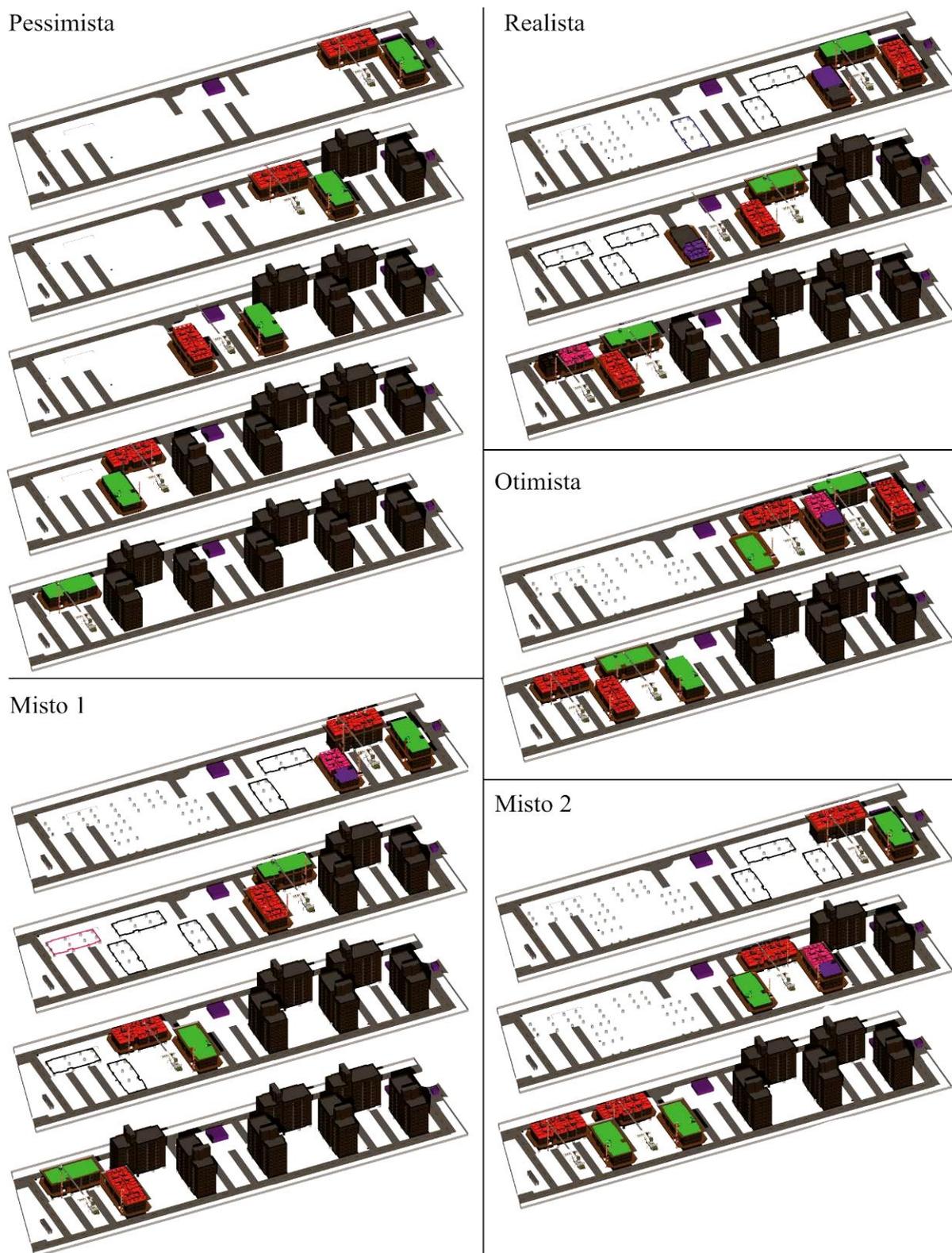


Figura 101: Cenários simulados para o empreendimento N1 e localização dos elevadores cremalheiras.

Para executar cada um dos cenários apresentados acima, seria necessário utilizar os recursos de maneira diferente (Figura 102). Para custear as atividades de transporte vertical de

materiais, se considerou o valor de aluguel diário dos caminhões munk e guindaste, sendo esses, R\$ 1300,00 e R\$ 1900,00 respectivamente. O uso do caminhão munk fica limitado até o quarto pavimento dos blocos, e a partir do quinto pavimento, o caminhão guindaste é o equipamento responsável pelo içamento de materiais. A partir da linha de balanço foi possível programar o número de vezes necessárias para o transporte de materiais na execução das atividades de laje e alvenaria, sendo que essas acontecem concomitantemente em diversas torres.

O cenário que se mostrou com menor custo para o uso dos caminhões munk e guindaste é o cenário misto 2, totalizando R\$ 113.000,00. E o custo mais alto é visto com o cenário realista, com R\$ 166.700,00. Entretanto, esses valores foram extraídos considerando a premissa de que os recursos de transporte seriam utilizados em cada lote uma vez no início da execução das atividades de laje e alvenaria para erguer ferragens, equipamentos de proteção coletiva, blocos cerâmicos, argamassas, entre outros. Esses valores podem ser alterados caso um dia não seja suficiente para fornecer material a todos os blocos em execução simultânea.

	Custo/dia	Vezes necessárias	Sub Total	TOTAL	CUSTO/BLOCO
<b>Cenário Realista</b>					
<b>Munk</b>	R\$ 1300,00	42	R\$ 54.600,00	<b>R\$ 166.700,00</b>	<b>R\$ 18.522,22</b>
<b>Guindaste</b>	R\$ 1900,00	59	R\$ 112.100,00		
<b>Cenário Pessimista</b>					
<b>Munk</b>	R\$ 1300,00	34	R\$ 44.200,00	<b>R\$ 146.800,00</b>	<b>R\$ 16.311,11</b>
<b>Guindaste</b>	R\$ 1900,00	54	R\$ 102.600,00		
<b>Cenário Otimista</b>					
<b>Munk</b>	R\$ 1300,00	33	R\$ 42.900,00	<b>R\$ 132.200,00</b>	<b>R\$ 14.688,89</b>
<b>Guindaste</b>	R\$ 1900,00	47	R\$ 89.300,00		
<b>Cenário Misto 1</b>					
<b>Munk</b>	R\$ 1300,00	37	R\$ 48.100,00	<b>R\$ 141.200,00</b>	<b>R\$ 15.688,89</b>
<b>Guindaste</b>	R\$ 1900,00	49	R\$ 93.100,00		
<b>Cenário Misto 2</b>					
<b>Munk</b>	R\$ 1300,00	27	R\$ 35.100,00	<b>R\$ 113.000,00</b>	<b>R\$ 12.555,56</b>
<b>Guindaste</b>	R\$ 1900,00	41	R\$ 77.900,00		

Figura 102: Comparativo de custo de equipamento entre os cenários simulados para o empreendimento N1.

Como o foco da modelagem BIM 4D eram os processos críticos, esses foram estudados para diferentes cenários, alterando o número de equipes necessárias para as atividades de alvenaria e laje. O cenário realista (3; 3; 3) utilizou uma equipe para executar a alvenaria que se alternava entre dois blocos, junto com uma equipe que executava a laje. O terceiro bloco seria realizado por apenas uma equipe polivalente que executaria em dois lotes tanto a alvenaria como a laje.

O cenário pessimista (2; 2; 2; 2; 1) utilizaria sempre uma equipe especializada em alvenaria e outra em laje se alternando em dois blocos. Já o cenário otimista (5; 4) utilizaria 2 equipes de alvenaria e 2 equipes de laje que atacariam alternadamente 2 blocos. O terceiro bloco seria atacado por uma equipe polivalente que executaria tanto a alvenaria como a laje. A partir da execução do sexto bloco, seriam necessárias apenas as 2 equipes de cada especialidade para executar alternadamente os 4 últimos blocos.

O cenário misto 1 (3; 2; 2; 2) iniciaria com uma equipe de alvenaria e uma equipe de laje, que se alternariam entre dois blocos. O terceiro seria executado em dois lotes por uma terceira equipe polivalente. Em seguida, como o ritmo de produção diminuiria, seria necessário manter apenas uma equipe de cada especialidade.

No cenário misto 2 (2; 3; 4) a produção começaria com uma equipe de cada especialidade se alternando em dois blocos. Em seguida, uma terceira equipe polivalente se uniria às demais para executar somente um bloco em dois lotes. E por fim, essa equipe deixaria de ser polivalente e revezaria a execução de outros dois blocos com mais uma nova equipe especialista.

Cenário	Alvenaria (nº de equipe)	Laje (nº de equipe)	Alvenaria e Laje	Total de Equipes
<b>Realista (3; 3; 3)</b>	1 especialista	1 especialista	1 polivalente	3
<b>Pessimista (2; 2; 2; 2; 1)</b>	1 especialista	1 especialista	-	2
<b>Otimista (5; 4)</b>	2 especialistas	2 especialistas	1 polivalente	5
<b>Misto 1 (3; 2; 2; 2)</b>	1 especialista	1 especialista	1 polivalente	3
<b>Misto 2 (2; 3; 4)</b>	2 especialistas	1 especialista	1 polivalente	4

Figura 103: Planilha de recurso de mão de obra para os processos críticos dos cenários simulados para o empreendimento N1.

#### 5.4.2 Processo de Modelagem BIM 3D e 4D

No estudo empírico 4, a pesquisadora modelou em BIM o canteiro de obra e um bloco de apartamentos individualmente, que foi replicado para os demais blocos do empreendimento, pois eram idênticos. Como houve necessidade de estudar mais profundamente diferentes opções de planos de ataque, processos críticos e seus recursos, a pesquisadora optou por não modelar a unidade base, pois as atividades internas dos apartamentos aumentam o grau de detalhe da modelagem, o que é desnecessário para atingir o seu escopo. Devido a isso, o tempo de modelagem total foi menor se comparado aos outros estudos.

O processo de modelagem BIM 3D iniciou-se com a preparação dos arquivos do AutoCAD, tempo esse que perdurou por 40 minutos. Em seguida, a modelagem BIM 3D de apenas uma torre de apartamentos e suas bandejas de segurança foram modeladas e replicadas num segundo modelo, conforme a implantação dos edifícios no terreno. A modelagem das bandejas foi importante na visualização de suas interferências com os equipamentos de transporte vertical, além de serem uma demanda da empresa, que tinha interesse em visualizar suas condições no canteiro pois havia contratado um projetista de bandejas metálicas.

Pelo fato do modelo ter como foco os processos críticos, foram modelados inicialmente apenas lajes e paredes com esquadrias, portas e gradis. Durante o estudo, a pedido dos participantes, outros componentes foram incluídos no modelo BIM 4D, tais como estacas e vigas baldrames, mas apenas de maneira representativa por falta de detalhes de projetos.

A modelagem 3D dos equipamentos de transporte, como caminhão guindaste, guindaste, elevador cremalheira, manipulador telescópico e estoques de blocos cerâmicos e malhas de ferragens foram adicionados ao modelo. Esses equipamentos foram imprescindíveis para estudar interferências espaciais nas atividades críticas do empreendimento e facilitar na escolha do equipamento de transporte vertical de materiais e localização dos estoques.

Todo o processo de modelagem BIM 3D levou 5h13 minutos. Após a conclusão do modelo, iniciou-se a preparação dos arquivos do MSProject, os quais tinham suas atividades com os mesmos nomes das geometrias que representariam no modelo BIM 3D, podendo ser aplicada a regra de ligação automática entre geometria e plano do *software* de modelagem 4D. O tempo de preparação dos arquivos foi de apenas 18 minutos. Finalizado o modelo BIM 4D, vídeos do plano foram gerados em 10 minutos, como apresenta a Figura 104 a seguir.

<b>Atividade</b>	<b>Tempo</b>
Preparação de arquivos do AutoCAD	40 min
Modelagem BIM 3D do Empreendimento	5h13
Preparação dos arquivos do MsProject para o modelo BIM 4D	18 min
Geração de vídeos	10 min
<b>TOTAL</b>	<b>7h31</b>

Figura 104: Quadro de duração das atividades do processo de modelagem 4D do empreendimento N1.

Todo o processo de modelagem citado até aqui foi para gerar um primeiro modelo BIM 4D do empreendimento, que foi utilizado para visualizar as decisões preliminares do PSP. No que tange a essas decisões, houve diversos ciclos de projeto e revisão para estudar a sequência

executiva e definir o tamanho dos lotes de produção e de transferência da unidade base, que só foram dimensionados quando se analisou o fluxo de trabalho na torre e as dificuldades de acesso com o transporte vertical no modelo BIM 4D.

Entretanto, no decorrer do PSP, novas demandas por diferentes estratégias de ataque surgiram e provocaram alterações nas informações de entrada na modelagem BIM 4D. Os cinco cenários analisados incorporaram decisões já definidas no PSP e propuseram outras novas para serem visualizadas por meio do modelo BIM 4D, como a localização de estoques, equipamentos de transporte, entre outras.

#### 5.4.3 Considerações Finais do Estudo Empírico 4

O estudo empírico 4 compreendeu a elaboração do PSP para o empreendimento N1 em conjunto com a modelagem BIM 4D. Em relação ao modelo de Schramm (2009), uma nova unidade de análise foi utilizada: a torre (módulo de repetição da unidade base). Neste estudo, foi importante estudar a relação da estratégia de ataque do empreendimento com os possíveis equipamentos de transporte vertical de materiais, a localização dos mesmos e os lotes de produção e transferência.

Uma dúvida que os engenheiros e diretor da empresa N tinham era em relação à demanda de vendas de apartamento *versus* produção, pois eles iniciaram a obra com uma estratégia de ataque que executasse três blocos simultaneamente. Entretanto, havia a possibilidade de se diminuir ou aumentar o ritmo de produção para atender a demanda. Para isso, foram simulados cinco distintos cenários e avaliado o impacto no uso dos recursos. Para cada cenário, os equipamentos deveriam estar em locais diferentes para não haver interferência entre eles.

Devido à disponibilidade de uma possível equipe polivalente para executar as atividades de alvenaria e laje, decidiu-se considerar dois lotes de produção por pavimento em alguns blocos, de acordo com a estratégia de ataque definida. Assim, nos blocos com dois lotes por pavimento, o uso do elevador cremalheira para transportar os materiais necessários aos processos de alvenaria estrutural e laje foi descartado, prevendo seu uso na fase de acabamentos.

O uso da modelagem BIM 4D foi importante neste estudo para antecipar limitações dos equipamentos e prever possíveis conflitos no canteiro de obra. Além disso, os modelos BIM

4D se mostraram um facilitador na comunicação das decisões da produção entre os envolvidos no estudo. Eles se conscientizaram da importância de se realizar o PSP do empreendimento para se proteger das incertezas e variabilidades recorrentes no canteiro.

As diversas simulações executadas proveram certa confiança aos engenheiros envolvidos, pois, como a obra estava em sua fase inicial, e caso houvesse necessidade de modificação do plano durante a execução do empreendimento, eles poderiam apoiar suas futuras decisões baseados nos estudos de PSP até então realizados. Ao final do estudo, a pesquisadora elaborou o modelo do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção, utilizado na versão final do método de modelagem BIM 4D integrado à gestão da produção.

## 5.5 DISCUSSÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

Nessa seção foram reunidos e analisados os dados gerados pelos estudos empíricos desta pesquisa. O método final de uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção foi elaborado a partir dos três modelos de processos de gestão da produção desenvolvidos nos estudos empíricos 2, 3 e 4 que são apresentados a seguir. Devido ao caráter exploratório do estudo empírico 1, o mesmo não teve seu processo de modelagem BIM 4D incluído nessa avaliação.

Nesta pesquisa, os empreendimentos tiveram características físicas distintas, necessitando ampliar a gestão da produção por meio de uma nova unidade de análise: o módulo de repetição da unidade base, sendo esse representado por blocos de apartamentos, torres ou quadra de casas.

A Figura 105 mostra o modelo do processo de gestão da produção do estudo empírico 2, que teve como unidade base, o pavimento; como módulo de repetição da unidade base, a torre; e como o empreendimento, as áreas comuns e o canteiro de obras.

O processo se iniciou quando a pesquisadora necessitou avaliar o plano de longo prazo do empreendimento, e para isso, elaborou o diagrama de precedência para conhecer a sequência de execução da unidade base e a planilha de dimensionamento da capacidade de recursos para conhecer a mão de obra planejada para obra.

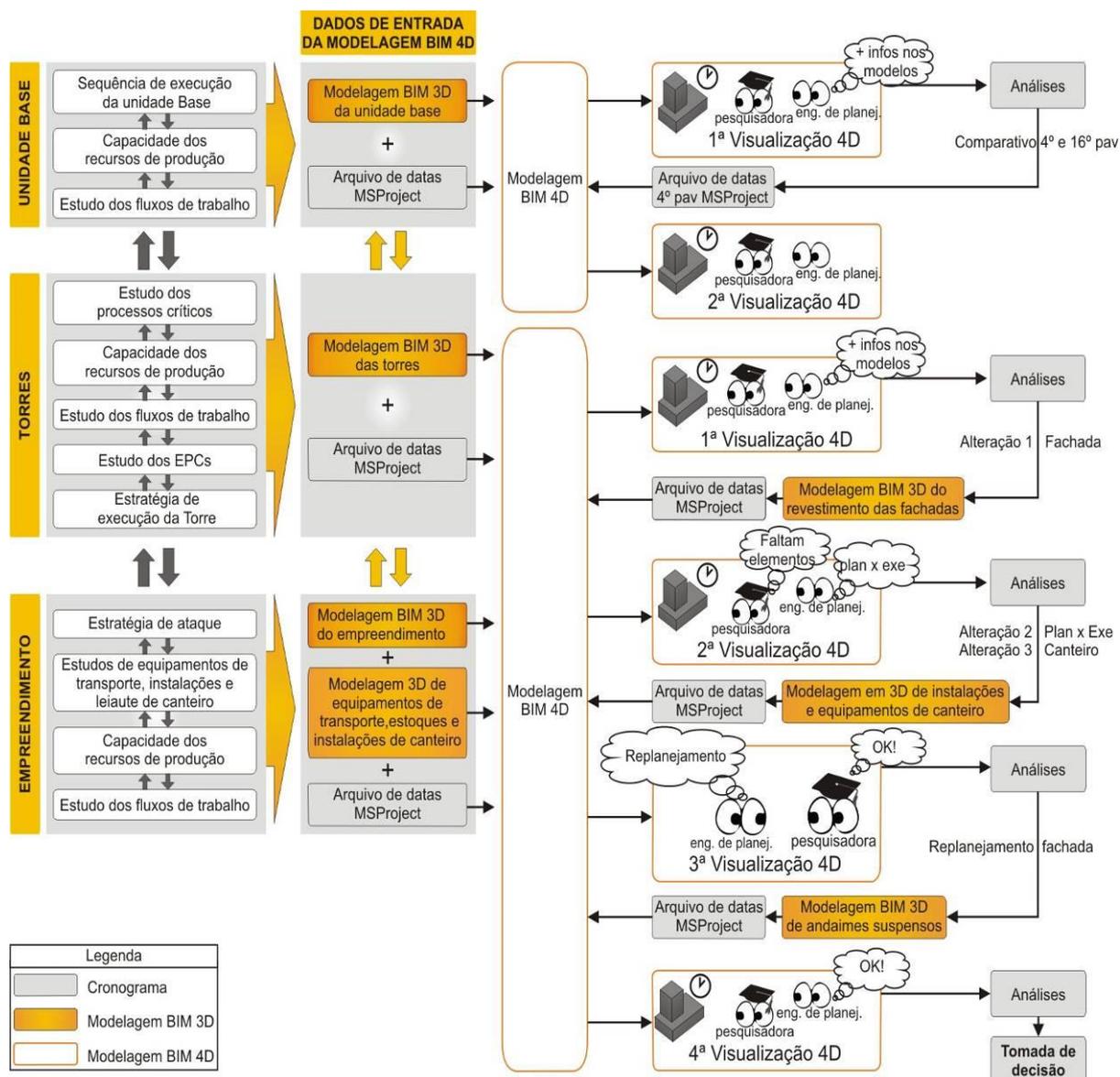


Figura 105: processo de gestão da produção do estudo empírico 2.

Em seguida, se procurou estudar os fluxos de trabalho nas torres, a estratégia de execução das mesmas e as interferências dos EPCs com os processos críticos. Baseado nesses últimos se modelou em BIM 3D as torres e se elaborou um novo arquivo de datas do MSPProject. Do modelo BIM 4D, um filme em extensão \*.avi foi exportado para visualização na empresa. A engenheira de planejamento então solicitou mais informações nos modelos, como os elementos de fachadas, então, um primeiro ajuste na modelagem BIM 3D foi feito ao se modelar os revestimentos de fachadas. Essa alteração também provocou a inserção de novas atividades no arquivo do MSPProject que alimenta o modelo BIM 4D. Durante a nova visualização 4D, a pesquisadora percebeu que ainda faltavam informações no modelo, e a engenheira de planejamento solicitou um comparativo entre planejado e executado.

A segunda alteração então, compreendeu a modelagem BIM 4D do empreendimento e a inserção de novo arquivo MSProject com as datas de planejado e executado das atividades. Por fim, se gerou um vídeo do comparativo planejado e executado do empreendimento. Outros ajustes foram acontecendo ao longo desse processo, como a modelagem BIM 3D das bandejas de segurança, entre outros elementos de canteiro. Quando se acrescenta elementos geométricos, necessariamente deve-se atualizar o arquivo de datas do MSProject com suas respectivas atividades e durações.

Com a nova visualização 4D, a engenheira de planejamento quis iniciar o estudo para a unidade base, mas sem definir um escopo para modelagem. Para isso, o modelo BIM 3D do pavimento utilizado nas torres foi detalhado com as atividades internas. Então, se aproveitou o modelo BIM 4D para se estudar a sequência de execução das atividades do 16º pavimento, a capacidade dos recursos de produção e os fluxos de trabalho no mesmo. Como havia sido identificado nas linhas de balanço os diferentes ritmos das atividades das torres, a pesquisadora resolveu investigar como isso era representado no modelo BIM 4D, comparando o 16º pavimento com o 4º, ambos da torre 2.

Em paralelo aos estudos da unidade base, conforme solicitado pela engenheira de planejamento, a pesquisadora iniciou o estudo do replanejamento do empreendimento, que compreendeu alterar a estratégia de execução das fachadas e a sequência de execução da unidade base. Para visualizar 4D, se importou um novo arquivo MSProject da empresa contendo o replanejamento. Este estudo provocou a modelagem BIM 3D dos andaimes suspensos.

No estudo empírico 2, a modelagem BIM 4D não provocou tomada de decisão por parte da engenheira de planejamento participante no estudo, mas seu processo foi importante para pesquisadora compreender quais elementos 3D são necessários em diferentes demandas da gestão da produção.

O processo de gestão da produção do estudo empírico 3, representado na Figura 106, teve como unidades de análise o empreendimento e a unidade base. Inicialmente, na avaliação do plano de longo prazo do empreendimento N1, se buscou explicitar a sequência de execução da unidade base com auxílio do diagrama de precedência e do modelo BIM 4D. Ao mesmo tempo, a pesquisadora buscou conhecer o dimensionamento dos recursos de produção, e elaborou uma planilha de capacidade de recursos para o mesmo.

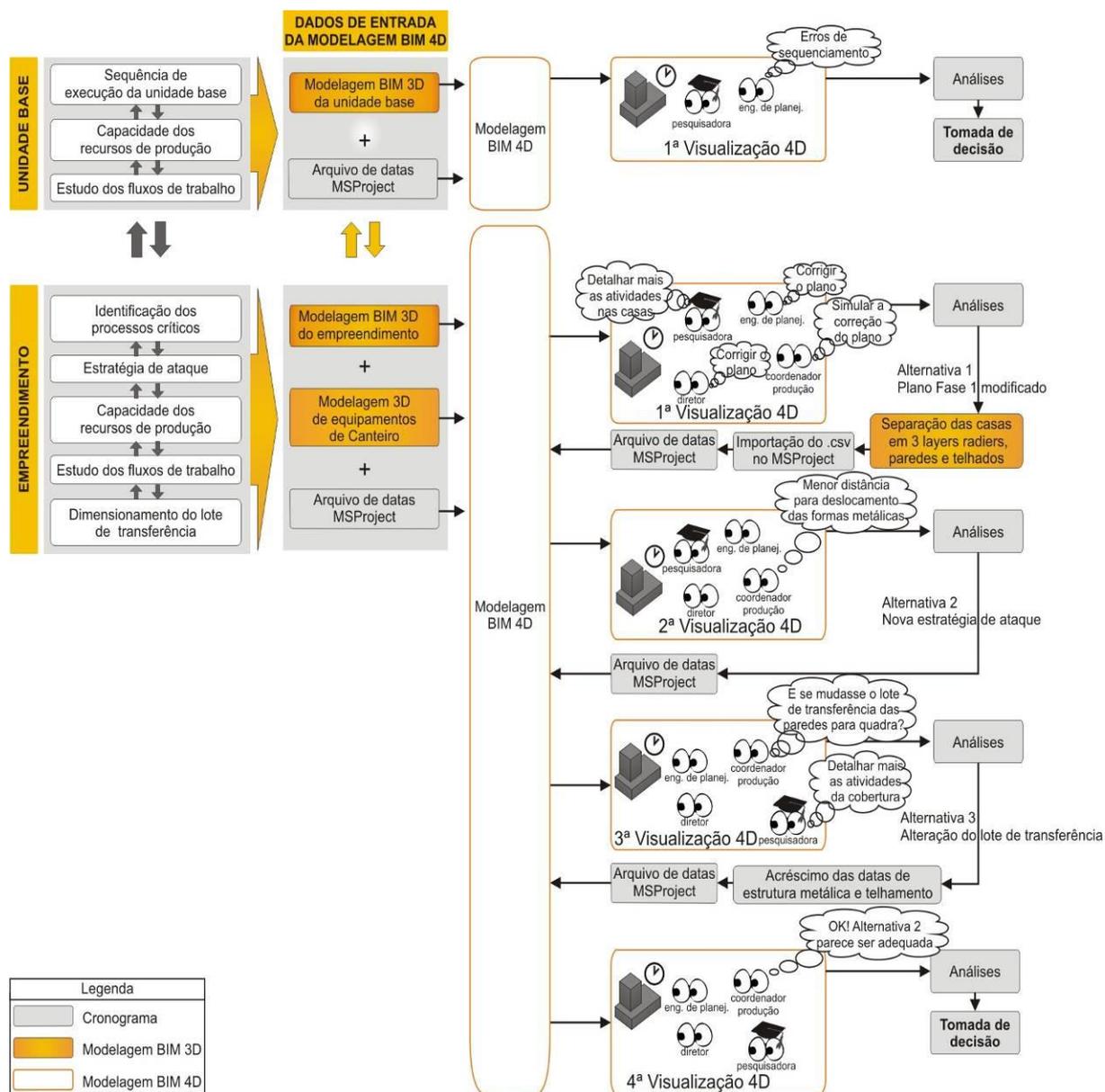


Figura 106: processo de gestão da produção no estudo empírico 3.

O modelo 4D da unidade base foi utilizado para apresentar aos participantes pequenos problemas de sequenciamento das atividades em algumas casas, e os mesmos tomaram a decisão de corrigi-las e incorporar no planejamento as novas atividades identificadas na rede de precedência. Em seguida, o modelo foi reaproveitado para compor as 514 casas do empreendimento.

As questões estudadas no empreendimento foram os processos críticos, a estratégia de ataque, os recursos de produção planejados, os fluxos de trabalho e o dimensionamento do lote de transferência. A linha de balanço foi importante para mostrar variações no cumprimento da

estratégia de ataque prevista pela empresa, e o modelo BIM 4D, que teve que passar por ajustes para facilitar a visualização dos processos críticos, apresentou as interferências das atividades de infraestrutura com as atividades.

Dando seguimento, a empresa realizou as correções no plano e uma nova visualização 4D foi elaborada. Neste momento, os participantes do estudo solicitaram uma nova estratégia de ataque que diminuísse o deslocamento das equipes pelo canteiro. Então, a linha de balanço necessitou ser alterada e uma terceira visualização 4D foi gerada. Por último, com a solicitação da empresa em visualizar como seria o plano de longo prazo caso o lote de transferência da atividade de paredes fosse modificado, a pesquisadora decidiu apresentar a atividade de cobertura em dois processos: estrutura e telhamento; o que exigiu a inserção de mais atividades e datas no arquivo do MSProject. Essa última visualização 4D mostrou o acréscimo de trabalho em progresso, e a alternativa foi então descartada. Por fim, os participantes no estudo decidiram que a alternativa de modificar a estratégia de ataque seria adequada diante da grande extensão do canteiro de obra do empreendimento, visto que se reduziria em aproximadamente 1,1km a distância percorrida pelas equipes.

Na Figura 107, o processo de gestão da produção do estudo empírico 4 é apresentado. Nele, a pesquisadora definiu a sequência de execução das atividades da unidade base e dimensionou o lote de produção, mas sem focar na modelagem BIM 4D da mesma, pois o modelo BIM 3D foi desenvolvido para modelagem das torres de apartamentos.

Inicialmente os participantes da empresa optaram por definir uma estratégia de ataque considerando um cenário de vendas de apartamentos pessimista. Então, se buscou estudar os processos críticos, dimensionar a capacidade dos recursos, os fluxos de trabalho, os lotes de transferência, os EPCs, os equipamentos de transporte vertical, os principais estoques, para esse cenário. Foi utilizado então o modelo BIM 4D, a planilha de capacidade de recursos, os histogramas de mão de obra e a linha de balanço, que forneceu os dados de entrada para a modelagem 4D. A primeira visualização 4D foi assistida pelos participantes, que solicitaram a simulação de um cenário realista, que necessitava a quebra do lote de produção para ter uma terceira frente de trabalho.

Então, o dimensionamento do lote de produção foi realizado com auxílio da visualização 4D, exigindo que o modelo BIM 3D fosse reeditado, e se procurou definir o equipamento de transporte vertical mais adequado à sua nova conformação. Junto a essas definições, uma

nova estratégia de ataque para o cenário realista foi apresentada em uma segunda visualização 4D.

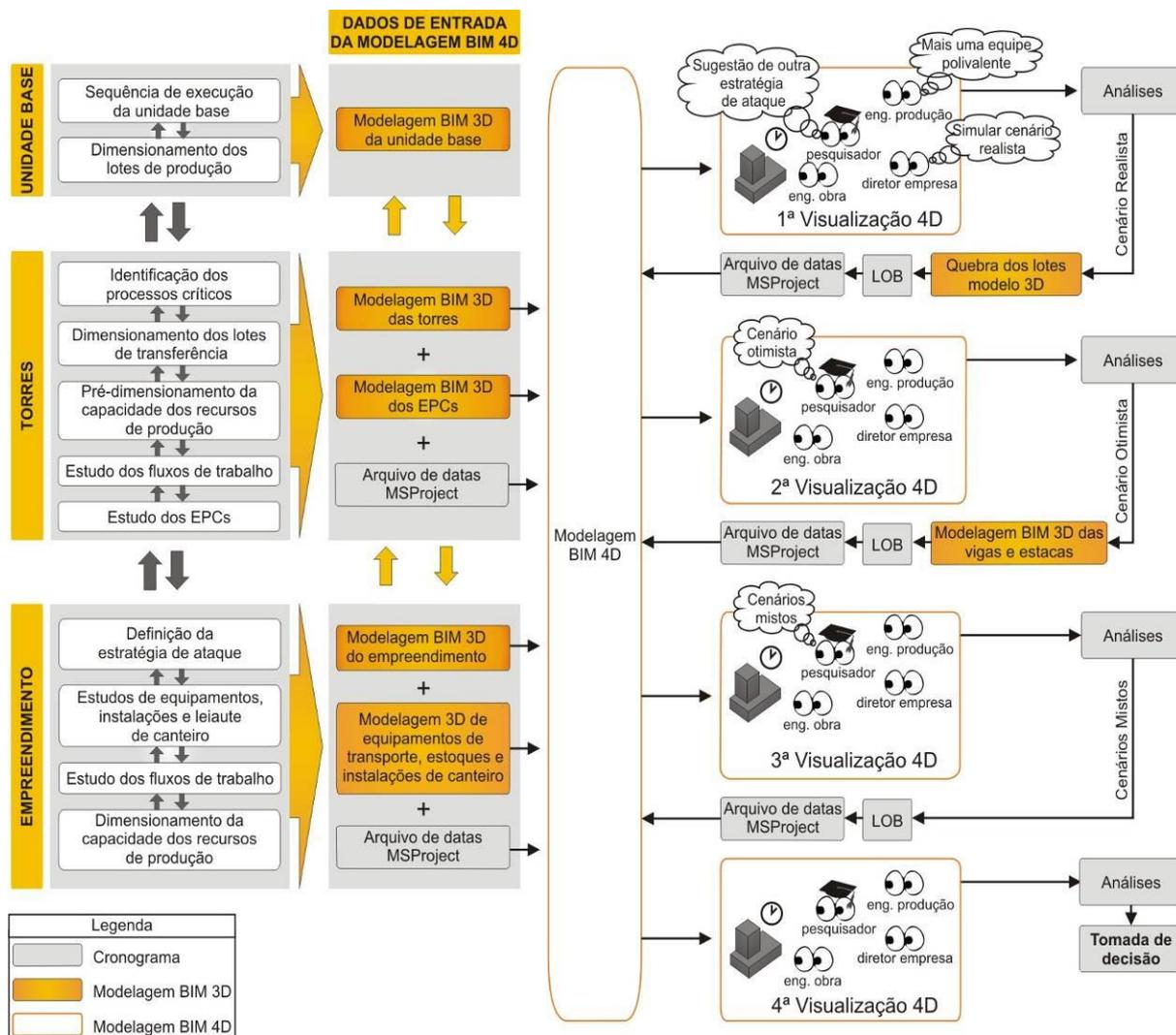


Figura 107: processo de gestão da produção no estudo empírico 4.

Dando continuidade às simulações de cenários distintos para que os participantes tomassem uma decisão acerca da estratégia a seguir, as definições do PSP foram sendo elaboradas conforme cada cenário. Um cenário otimista foi solicitado, modelado e apresentado aos participantes. Entretanto, devido a incerteza na demanda por apartamentos, seria muito provável que a estratégia de ataque oscilasse ao longo da construção das torres. Para isso, os processos críticos do empreendimento foram modelados em BIM 4D para mais dois novos cenários mistos. Assim, os envolvidos na empresa saberiam onde localizar estoques, equipamentos, contratar mão de obra para cada cenário que vivenciassem.

Em todos os três estudos, foram elaborados como informação de entrada na modelagem BIM 4D, arquivos de datas do MSProject a partir das linhas de balanço que sintetizavam diversas outras definições importantes no projeto e planejamento da produção. Ao longo dos estudos, a visualização 4D dos sistemas produtivos, repercutiu em diversos ajustes nos modelos 3D, nos arquivos de datas do MSProject, e nas próprias decisões anteriormente definidas, necessitando alterar também as demais ferramentas utilizadas neste método.

## 5.6 MÉTODO PARA USO DA MODELAGEM BIM 4D NA GESTÃO DA PRODUÇÃO

A Figura 108 representa o método proposto, que é composto por três fases: (a) preparação da empresa para o uso do método; (b) tomada de decisões preliminares para modelagem BIM 4D; e (c) fase de análise da visualização 4D e tomada de decisão.

### 5.6.1 Fase de preparação da empresa para o uso do método

A partir da revisão bibliográfica, foram identificados diversos requisitos para a implantação da modelagem 4D nas empresas construtoras. Os trabalhos apontam as principais barreiras técnicas e organizacionais a serem vencidas pelas empresas construtoras como pré-condições necessárias a um ambiente de implementação da modelagem 4D.

A fase de preparação acontece apenas uma única vez na empresa que for iniciar a implantação do uso dos modelos BIM 4D e outras ferramentas de planejamento. Entretanto, é importante salientar que a cada novo empreendimento, é possível que algumas decisões necessitem ser revisadas.

A empresa construtora deve estar consciente do investimento a ser feito e, por isso, deve disponibilizar o capital necessário para aquisição de equipamentos e *software* adequados à modelagem BIM 4D, disponibilizar tempo para o treinamento de seus funcionários e incentivar um ambiente de trabalho colaborativo.

Inicialmente, deve-se definir quem são os usuários dos modelos BIM 4D. Como se trata de um método para apoiar a tomada de decisão na gestão da produção, os prováveis usuários são os mestres, engenheiros de obras, engenheiros de planejamento e coordenadores de obras ou gerentes de produção, podendo sua utilização ser estendida a fornecedores, clientes, operários,

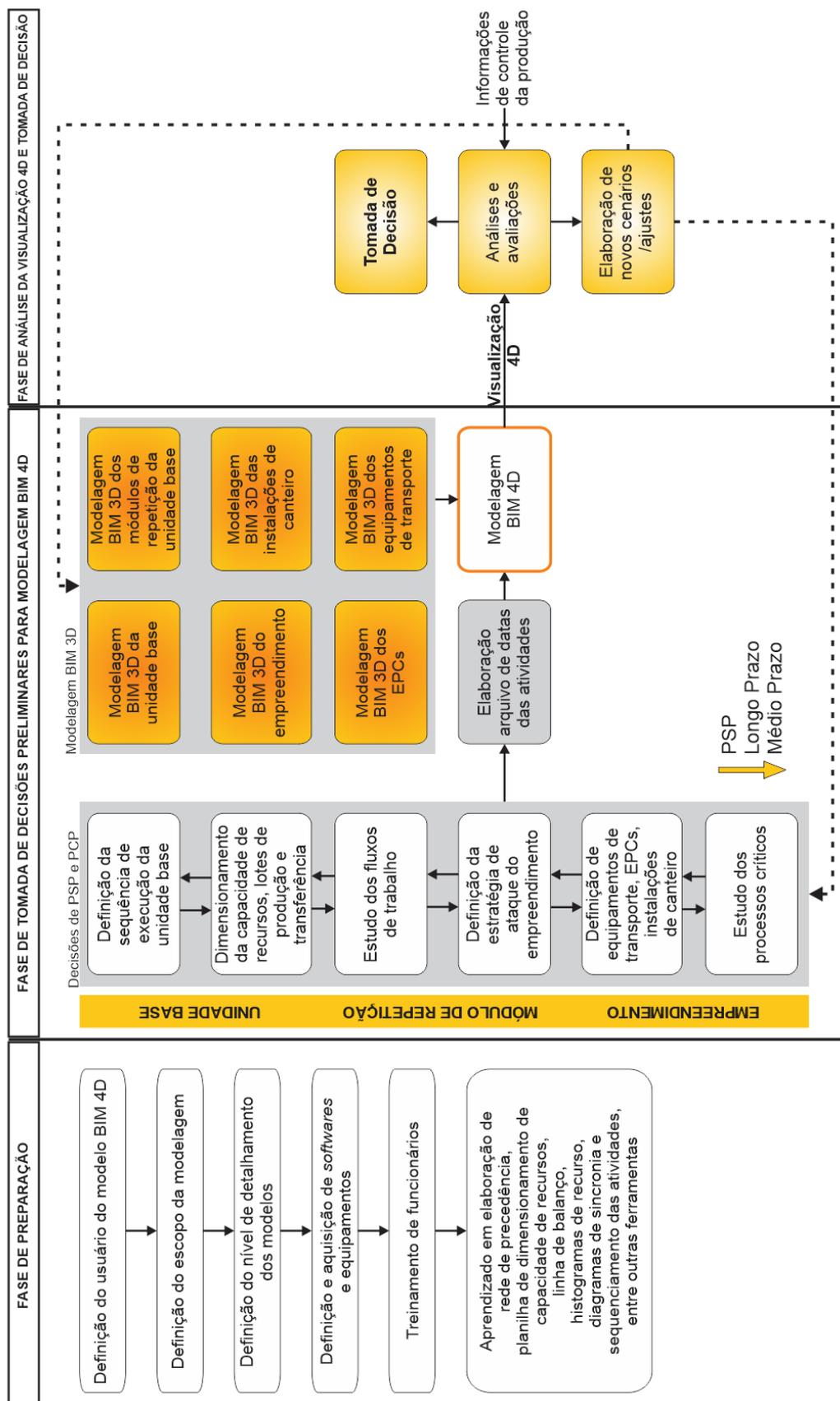


Figura 108: método final do uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção.

entre outros. O método proposto foi baseado nos estudos cujos clientes eram os engenheiros das obras e de planejamento.

Após a identificação do usuário do modelo, define-se o escopo da modelagem, ou seja, o escopo do sistema de produção a ser estudado, assim como as unidades de análise: unidade base, empreendimento e canteiro de obras.

Em seguida, deve-se definir quem são os usuários dos modelos BIM 4D. Como se trata de um método para gestão da produção, os prováveis usuários são os mestres, engenheiros de obras, engenheiros de planejamento e coordenadores da produção, podendo expandir para fornecedores, clientes, operários, entre outros. O método proposto foi baseado nos estudos cujo clientes eram os engenheiros das obras e de planejamento.

Após a identificação do usuário do modelo, define-se o escopo da modelagem, ou seja, quais atividades ou sistemas de produção serão estudados e quais unidades de análise: unidade base, módulo de repetição da unidade base, empreendimento e canteiro de obras.

É importante frisar que o método foi desenvolvido principalmente como resultado de estudos aplicados no projeto de sistemas de produção e no planejamento de longo prazo das obras. Porém, devido às necessidades de visualização de pacotes de trabalho mais detalhados do que os do plano de longo prazo, em alguns estudos, se trabalhou com o planejamento de médio prazo, como por exemplo, estudo de operações de içamento de materiais junto com andaimes suspensos.

O grau de detalhamento afeta a construção dos próprios modelos BIM 3D, que necessitam ter mais elementos, e os arquivos de dados do *software* de planejamento utilizado. Estes arquivos são utilizados para inserir mais facilmente as datas das atividades no *software* de modelagem BIM 4D, pois, como visto no estudo empírico 3, pode-se utilizar a mesma geometria 3D para representar diversas atividades, sem haver necessidade de detalhamento do modelo BIM 3D, mantendo o arquivo da modelagem BIM 4D mais leve e fácil de trabalhar, além de reduzir o tempo com a modelagem.

No próximo passo, a empresa faz a seleção dos softwares para a modelagem. Deve-se optar por um *software* de modelagem BIM 4D que seja mais compatível com o programa de modelagem de produto (BIM 3D) utilizado. Em seguida, define-se os funcionários a serem capacitados para realizar a modelagem em BIM 3D e 4D. É importante salientar que o

funcionário responsável pela modelagem deve estar sempre presente nas discussões da gestão da produção para entender a demanda de todos os envolvidos, mesmo que não trabalhe no canteiro de obras.

Por fim, os funcionários envolvidos na gestão da produção devem ter conhecimento acerca de outras ferramentas de planejamento e controle, utilizadas em conjunto com a modelagem BIM 4D, tais como redes de precedência, planilha de dimensionamento de capacidade de recursos, linha de balanço, histogramas de recurso, diagramas de sincronia e sequenciamento das atividades.

### 5.6.2 Fase de tomada de decisões preliminares para modelagem BIM 4D

Esta fase consiste em tomar decisões preliminares a cerca dos sistemas de produção com o apoio de ferramentas sem potencial espacial, como a visualização 4D. Nesta etapa as decisões predefinidas serão informações de entrada para modelagem BIM 4D, mas a análise de seu produto ocorrerá apenas na fase seguinte.

No método desenvolvido nesta pesquisa, duas unidades de análise foram trazidas do modelo proposto por Schramm (2004): a unidade base e o empreendimento. Entretanto, devido às diferentes configurações físicas de cada empreendimento dos estudos, uma nova unidade de análise foi incorporada ao método: o módulo de repetição da unidade base, que pode ser representado por torres (EE2), blocos de apartamentos (EE4) ou quadras de casas (EE3).

Em seguida, algumas decisões envolvidas no método foram adaptadas do modelo de Schramm (2004): sequenciamento das atividades da unidade base, dimensionamento dos recursos de produção, planejamento dos fluxos de trabalho, balanceamento e sincronização de equipes, e dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, entre outros.

Além disso, outras decisões foram consideradas no escopo do trabalho: a definição dos equipamentos de transporte vertical, análise de interferências de equipamentos de proteção coletiva e instalações do canteiro, planejamento da logística e leiaute do canteiro de obras.

Estas decisões foram incluídas baseadas nos quatro estudos empíricos da pesquisa, nos quais, simulações com modelos BIM 4D foram realizadas com diversos elementos de canteiro modelados.

Portanto, é necessário modelar em BIM 3D a unidade base, seu módulo de repetição e o empreendimento considerando os equipamentos de transporte vertical, equipamentos de proteção coletiva, materiais em estoques e instalações provisórias de canteiro, e, em seguida, elaborar um arquivo com as datas do plano, com todas as atividades referentes aos objetos modelados em BIM 3D em um *software* de planejamento ou outro compatível com o *software* escolhido para realizar a modelagem BIM 4D.

Como cada nível hierárquico de planejamento lida com diferentes níveis de precisão das informações, faz-se necessário, portanto, adequar o nível de detalhe dos modelos BIM 4D ao nível de detalhe dos planos ao longo da gestão da produção, para que se possa assim, atingir o objetivo esperado pela modelagem.

### 5.6.3 Fase de análise da visualização 4D e tomada de decisão

A partir da visualização 4D, pode-se avaliar a necessidade de ajustes no modelo, no arquivo de datas, ou da elaboração de novas alternativas e cenários do sistema de produção. É nesta fase em que as decisões serão tomadas com o auxílio dos modelos 4D.

O plano de longo prazo elaborado está sujeito a alterações e atualizações devido à variabilidade e incerteza presentes na operação do sistema produtivo. Assim, novas informações provenientes do controle nos níveis de médio e curto prazo podem demandar mudanças no plano de longo prazo do empreendimento. Logo, novas alternativas de plano podem ser simuladas por meio das ferramentas do método e pelos modelos BIM 4D. Após a análise de alternativas com o apoio da visualização 4D, o tomador de decisão pode escolher a melhor alternativa de plano a seguir no empreendimento.

### 5.6.4 Avaliação do método proposto

Nesse item, os resultados desta pesquisa foram analisados por meio de constructos e derivações, buscando responder às questões de pesquisa do primeiro capítulo deste trabalho.

#### 5.6.4.1 Utilidade

O constructo utilidade do método foi avaliado pela pesquisadora em relação à contribuição do emprego da modelagem BIM 4D na melhoria da tomada de decisão na gestão da produção.

O método para gestão da produção com uso da modelagem BIM 4D busca aumentar a comunicação e o entendimento das decisões entre os participantes, sendo composto por

ferramentas, como o diagrama de precedência, linha de balanço, diagramas de sincronia, planilhas de capacidade, e modelos BIM 4D, que representam o sistema de produção do empreendimento, de forma a obter um entendimento comum a todos participantes. Assim, a comunicação entre os mesmos pode ser facilitada, permitindo que estes compreendam as conexões existentes entre as decisões tomadas acerca do sistema produtivo.

Isto foi verificado no estudo empírico 2, quando da análise do replanejamento das atividades de fachada utilizando o modelo BIM 4D que permitiu a visualização das interferências e riscos que os trabalhadores poderiam ser submetidos nessa alternativa de plano. O modelo BIM 4D poderia ter sido utilizado na melhoria da organização do canteiro, ao se escolher equipamentos mais adequados às características espaciais daquele canteiro e locá-los em áreas que melhorassem o acesso, a segurança e o trânsito na obra.

No decurso do estudo empírico 3, a visualização 4D foi utilizada para verificar o plano de longo prazo elaborado pela empresa. Seu uso possibilitou melhorar diversos aspectos do planejamento, como o sequenciamento das atividades e estratégia de ataque.

No estudo empírico 4, a antecipação das informações repercutiu na constatação de que seria necessário contratar rapidamente uma terceira equipe polivalente para executar uma terceira torre do empreendimento. Ainda no estudo empírico 4, os participantes utilizaram a linha de balanço para discutir o fluxo de trabalho, o dimensionamento dos lotes de produção e transferência, e o modelo BIM 4D do empreendimento para debaterem sobre possíveis estratégias de ataque do mesmo e a localização dos equipamentos e estoques no canteiro.

Houve diversas evidências de que as informações geradas durante o desenvolvimento dos estudos foram utilizadas na tomada de decisão. Por exemplo, no estudo empírico 2, a alternativa de replanejamento do empreendimento foi refutada pela direção da empresa, e a visualização do modelo BIM 4D permitiu que o engenheiro de planejamento se certificasse de que a decisão tomada era correta devido ao aumento no risco de acidentes para os trabalhadores nas fachadas das torres. Isso mostra que quanto mais cedo estiverem disponíveis as ferramentas e os modelos BIM 4D, maiores são as oportunidades para seu potencial emprego nas decisões de gestão da produção.

No estudo empírico 3, os erros de sequenciamento apontados pelas linhas de balanço e modelos BIM 4D, fizeram com que a engenheira de planejamento alterasse o plano de longo prazo do empreendimento, optassem por uma estratégia de ataque que reduzisse as distâncias

percorridas pelas equipes transportando as formas metálicas no canteiro e alteraram a rede de precedência, inserindo novas atividades na mesma.

No estudo empírico 4, os modelos BIM 4D tiveram influência na tomada de decisão nas escolhas de equipamentos de transporte, estratégias de ataque para diferentes situações de vendas dos apartamentos. O engenheiro de produção da empresa N passou informações acerca dos encontros de bandejas primárias no empreendimento para projetista das bandejas metálicas, e, também utilizou o modelo BIM 4D para informar ao locador do elevador cremalheira onde deveriam ser instalados os elevadores na obra.

No quadro a seguir, estão reunidas as decisões analisadas durante os estudos, tanto no PCP em níveis de longo e médio prazos, quanto no projeto do sistema de produção (Figura 109).

Informações identificadas no sistema de produção		Atividades na Gestão da Produção			
		EE1	EE 2	EE 3	EE 4
Unidade base	Sequência de execução		X	X	X
	Capacidade dos recursos de produção		X	X	
	Fluxos de trabalho		X	X	
Módulo de repetição da UB	Sequência de execução		X	X	X
	Capacidade dos recursos de produção				X
	Fluxos de trabalho	X	X	X	X
	Processos críticos	X	X	X	X
Empreendimento	Estratégia de ataque	X	X	X	X
	Fluxos de trabalho	X		X	X
	Organização e logística de canteiro	X	X		X
	EPCs e instalações de canteiro	X	X		X
	Modelagem BIM 4D do Empreendimento	X	X	X	X
	Modelagem BIM 4D da Unidade Base		X	X	

Figura 109: Atividades desenvolvidas nos estudos empíricos desta pesquisa.

A participação ativa dos envolvidos em cada estudo está registrada no número de cenários simulados para tomada de decisão durante a gestão da produção. Enquanto no estudo empírico 2 houve pouca participação dos profissionais da empresa, houve apenas uma solicitação de simulação de cenário, referente ao estudo do revestimento externo das fachadas. Por outro lado, o estudo empírico 4 teve maior envolvimento dos profissionais, os quais

demandaram a simulação de cinco diferentes estratégias de ataque para o empreendimento. O estudo 3 teve duas solicitações por novos cenários simulados com alteração na estratégia de ataque e no lote de transferência da atividade de parede, sendo que, no total, foram simulados 4 cenários, incluindo um proposto pela pesquisadora.

É importante notar que o desejo dos participantes em responder questões elaboradas e debatidas durante os estudos se refletiram na demanda por novas simulações ou alterações dos modelos BIM. Essas demandas de alterações por parte dos envolvidos foram relativas à adição de mais elementos geométricos nos modelos BIM 3D, ou sua divisão para se trabalhar com atividades mais detalhadas ou lotes de produção diferentes. As demais alterações foram feitas a partir da necessidade percebida pela pesquisadora em detalhar mais os modelos.

No estudo empírico 1, a pesquisadora simulou três cenários: o planejado e duas alternativas de plano de longo prazo. No caso do estudo empírico 2, a engenheira de planejamento requisitou visualizar mais elementos do empreendimento, como os revestimentos de fachada, sendo a única demanda por alteração nos modelos. Já a pesquisadora sugeriu o detalhamento do canteiro de obras, a modelagem das bandejas de proteção periférica, e em seguida, dos andaimes suspensos, sendo essas as três alterações realizadas nos modelos.

No estudo empírico 3, o coordenador da produção requisitou que se representasse os processos críticos de *radier*, parede e cobertura das casas, e mais tarde, a pesquisadora alterou a cobertura, que também foi dividida em estrutura e telhamento. No estudo empírico 4, a solicitação de alteração do modelo BIM 4D tratou-se da inclusão das atividades de fundação, entretanto, a pesquisadora teve de alterar o modelo BIM 3D para se estudar o dimensionamento do lote de produção.

O número de cenários simulados, de solicitações de novos cenários e alterações nos modelos BIM 4D estão apresentados na Figura 110, a seguir.

Alterações, solicitações e cenários simulados

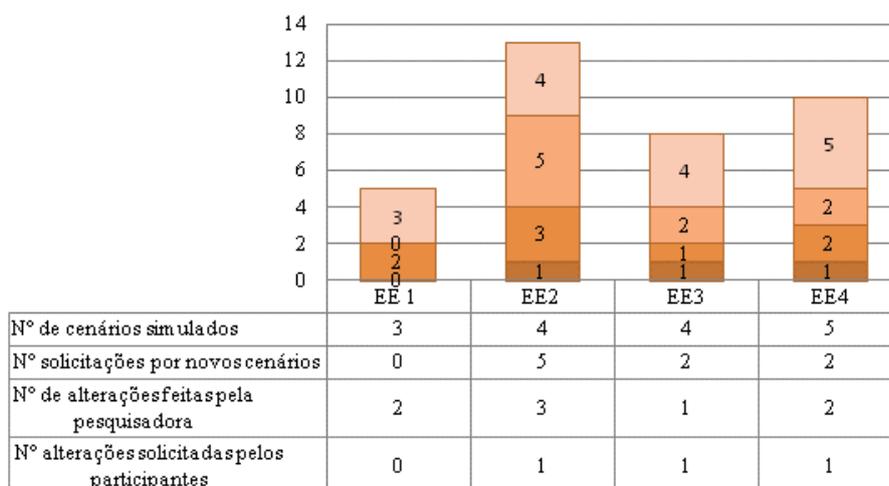


Figura 110: gráfico do número de alterações, solicitações por alteração e simulação de cenários.

Portanto, o método se mostrou útil no fornecimento de mais informações para tomada de decisão, pois muitas delas foram utilizadas pelos participantes dos estudos durante a gestão da produção dos empreendimentos. Ou seja, o método proposto oferece uma oportunidade de análise e avaliação do sistema produtivo e assim, proporciona aos tomadores de decisão, maior embasamento de informações ao longo da gestão do empreendimento.

O método também auxiliou os participantes a entender as inter-relações entre as decisões da gestão da produção, principalmente na fase de projeto dos sistemas produtivos, pois em diversas reuniões, decisões não definidas impediram a definição de outras decisões. Por exemplo, no estudo empírico 4, a definição dos equipamentos de transporte vertical permitiu a definição dos locais de estoque de blocos e ferragens, além de permitir a quebra do lote de produção no pavimento.

Além disso, no estudo empírico 3, os participantes perceberam que a estratégia de ataque do empreendimento escolhida havia criado uma grande quantidade de trabalho em progresso, em consequência da existência de poucos recursos de formas metálicas dos *radiers* e paredes. No mais, o uso da linha de balanço permitiu discutir com os participantes, diversos conceitos de produção e decisões que eles deveriam definir para elaborá-la.

#### 5.6.4.2 Facilidade de Uso

Nos estudos desta pesquisa, as ferramentas foram utilizadas coletivamente, e devido ao aspecto visual dos modelos BIM 4D, havia um incentivo na integração dos participantes no

processo de tomada de decisão a partir do momento em que todos debatiam conjuntamente as necessidades de cada setor e as consequências das decisões em suas áreas, utilizando sempre a visualização 4D para explicar suas ideias. Este fato se verificou no estudo empírico 3, no qual participavam das reuniões o diretor, o coordenador de produção, a engenheira de planejamento e a estagiária. A cada nova ideia de alternativa ao plano de longo prazo do empreendimento, os participantes se manifestavam apontando possíveis consequências para o sistema produtivo a partir de seu ponto de vista. Isso permitiu criar um ambiente de tomada de decisão integrada que abordasse holisticamente as interfaces do sistema produtivo.

No estudo empírico 4, participaram das reuniões o diretor, o coordenador da produção e o engenheiro de obra. Nestas reuniões os participantes debateram sobre as opções de estratégias de ataque, as restrições financeiras, a disponibilidade de mão de obra, e decidiram conjuntamente diversas questões referentes ao PSP, compreendendo a inter-relação das decisões que afetam a produção.

No estudo empírico 2, como as reuniões de desenvolvimento do estudo aconteceram muitas vezes com a presença apenas do engenheiro de planejamento, sendo que nenhuma decisão foi tomada por meio dos modelos BIM 4D, porque o referido profissional não tinha poder de decisão na empresa, e, os que tinham, tais como o diretor de engenharia e o coordenador de produção, não se fizeram presentes. O fato de não haver participação de diversos tomadores de decisão neste estudo mostrou que somente a ferramenta (modelo BIM 4D) não é suficiente para imprimir um caráter coletivo a este processo, apesar de ser uma forma de comunicação eficaz.

Em relação à transparência das informações, alguns participantes do estudo empírico 2, inicialmente, não se mostraram receptivos às ferramentas utilizadas, principalmente em relação à linha de balanço. Eles alegaram que a mesma é complexa e difícil de visualizar as atividades, provavelmente por não conhecer muito bem a ferramenta ou por não querer reconhecer que a prática utilizada pela empresa era pior. Entretanto, ao final do estudo, após a apresentação dos resultados à empresa, os participantes se interessaram em aprender mais sobre o uso da LOB no MSProject, como havia sido apresentada e utilizada pela pesquisadora. Por fim, eles se conscientizaram da importância do diagrama de sincronia das equipes, pois a falta de comprometimento e dimensionamento errôneo do trabalho das mesmas eram corriqueiros nas obras da empresa.

Ainda no estudo empírico 2, foi possível verificar que quando o modelo é desenvolvido com menos informações do que as necessárias, ele não atinge os objetivos propostos para a modelagem BIM 4D, e os participantes logo relataram não enxergarem de forma clara as informações que necessitavam. Contudo, ao detalhar mais os modelos, a facilidade de compreensão das questões levantadas nas reuniões aumentava.

Algumas decisões da gestão da produção não foram facilmente explicitadas pelo uso da modelagem BIM 4D, mas foram contempladas pelo uso de outras ferramentas, tais como a linha de balanço e o histograma de recursos. Por exemplo, as variações nos prazos dos empreendimentos em cada cenário simulado eram rapidamente percebidas pelas linhas de balanço, mas, imperceptíveis nas simulações 4D, mesmo porque elas tinham a duração fixada pelo programa de modelagem, geralmente em 40 segundos. De fato, os participantes do estudo empírico 4 sugeriram que na visualização 4D fosse possível se informar sobre o número de operários em cada atividade, o custo da mesma e o período em que ela ocorre na linha de balanço. Entretanto, essas informações são visualizadas em outras ferramentas do método, como o histograma de recursos de mão de obra, a planilha de dimensionamento dos recursos e a linha de balanço. Portanto, o que os participantes buscaram na modelagem BIM 4D, não era apenas a visualização do empreendimento, mas também sua relação com as outras decisões dos sistemas produtivos.

Houve interesse dos participantes em continuar o uso do método, mesmo que de forma parcial. Ao término do estudo empírico 2, a empresa L havia contratado um profissional especializado em modelos 4D para realizar a modelagem de um novo empreendimento, com base na premissa de que o mesmo poderia detectar erros de planejamento. Entretanto, este serviço foi contratado sem considerar que era necessário vincular o uso de 4D a outras ferramentas de visualização, tais como, por exemplo, a linha de balanço e os diagramas de sincronia.

No caso da empresa M, esta se mostrou interessada em continuar o uso do método, porém, não havia ainda funcionários capacitados para realizar as modelagens BIM, e informaram que a prioridade da construtora no momento era implementar o PCP em todas as obras após a fusão das quatro empresas. Então, a equipe implantou a LOB em todos os planejamentos de obras realizados no MSProject.

Por fim, na empresa N, o interesse de continuar o uso da modelagem BIM 4D ocorreu, mas com a clara consciência de que era necessário melhorar todo o processo de PCP nas obras da empresa, para então, estruturar o setor de planejamento e projeto para que pudessem iniciar a modelagem BIM 4D dos empreendimentos

O método proposto nesta pesquisa se mostrou viável no quesito tempo de modelagem, pois a partir do escopo da modelagem BIM 4D definido, o processo de elaboração dos modelos se torna objetivo e os modelos mais funcionais. Como se trabalhou com atividades pouco detalhadas, principalmente para responder questões relativas ao projeto do sistema de produção e ao planejamento de longo prazo, os modelos BIM 4D tinham um baixo grau de detalhes, o que tornou rápida a elaboração dos modelos e seu *feedback* nos debates ocorridos nos estudos.

Conforme a pesquisadora foi apreendendo a utilizar o *software* Autodesk Navisworks Manage, e entendia as questões que se buscava responder através do uso da visualização 4D, o tempo de modelagem foi diminuindo ao longo dos estudos empíricos. Os tempos de modelagem para cada estudo constam na Figura 111. Já o tempo de estudo de alternativas, ajustes da modelagem BIM 3D e 4D esteve diretamente relacionado à quantidade de solicitações de detalhamento dos modelos e de demanda de simulação de novos cenários nos estudos deste trabalho.

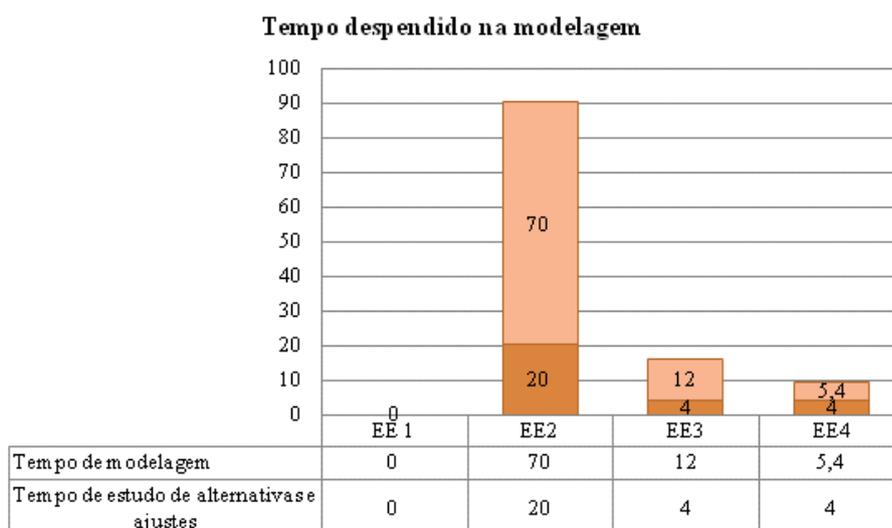


Figura 111: gráfico dos tempos de modelagem e alteração dos modelos BIM 4D.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as conclusões e as sugestões de pesquisas futuras no tema para ampliar e aprofundar o conhecimento teórico e prático do uso da modelagem BIM 4D na construção civil.

### 6.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho, pretendeu-se desenvolver e utilizar modelos BIM 4D para apoiar o projeto e o planejamento de sistemas de produção na construção civil, e para isso, teve como objetivo a construção de um método para orientar os gestores de obras nesses processos.

O método foi dividido em três fases: preparação da empresa; decisões preliminares e modelagem 4D; e, análise da visualização 4D e tomada de decisão. Além dos modelos BIM 4D, foram utilizadas diversas ferramentas de planejamento que contribuíram para entender os sistemas de produção da construção, em que pese a sua complexidade, tais como rede de precedência, planilha de capacidade de recursos, linha de balanço, diagramas de sincronia de equipes e de sequenciamento de atividades, e histogramas de recursos.

O uso conjunto dessas ferramentas, até então não encontrado na literatura, proporciona aos gestores de empreendimentos a conscientização de que modelo BIM 4D é apenas uma dentre tantas outras ferramentas que devem ser utilizadas na elaboração e visualização das decisões do PSP e PCP.

Essas ferramentas podem ser utilizadas tanto no projeto como no planejamento dos sistemas de produção. Portanto, para realizar a modelagem BIM 4D, é necessário que algumas decisões de PSP e de planejamento estejam pré-definidas, podendo compor um plano de longo prazo. Nele estão inseridas informações de sequência de execução das atividades, capacidade dos recursos de produção, fluxo de trabalho, estratégia de ataque, entre outras. A partir de uma primeira modelagem BIM 4D, é importante estudar a interação da construção com as instalações do canteiro, equipamentos de transporte, segurança coletiva, entre outros.

Interferências e restrições espaciais podem ser identificadas, o que requer alterações nas decisões previamente tomadas.

As simulações 4D devem abranger os diferentes níveis de análise do PSP: unidade-base, módulo de repetição (se houver), e empreendimento, sendo que o segundo nível, é novo em relação a trabalhos anteriores sobre PSP (SCHRAMM, 2004, 2009; RODRIGUES, 2006). Em seguida, novos cenários e alternativas de planos do sistema de produção podem ser simulados para oferecer ao gestor do empreendimento um conjunto de informações para apoiar a tomada de decisão ao longo da execução do projeto e planejamento do empreendimento.

Conforme for necessário ao gestor, é possível consultar o modelo BIM 4D em horizontes de tempo menores, o que implica a necessidade de maior detalhamento do plano em relação ao longo prazo, e do próprio modelo BIM 3D. Assim, pode-se melhorar a qualidade do planejamento e facilmente explorar a modelagem BIM 4D para sanar dúvidas ou planejar os fluxos físicos e outras atividades realizadas dentro do plano de médio prazo.

Nesta pesquisa não foram utilizadas as simulações 4D para o planejamento de curto prazo. Sua aplicação requer estudos mais aprofundados pois o tempo de modelagem BIM 4D pode ser superior ao horizonte de tempo do curto prazo. Entretanto, o mesmo nível de detalhamento do modelo BIM 4D pode ser alcançado também para se estudar os processos críticos como parte do PSP ou do planejamento de longo prazo.

Nos *software* de modelagem 4D há a possibilidade de trabalhar diferentes escalas de tempo (horas, semanas, meses, e anos) de construção dos empreendimentos. Entretanto, existe uma disparidade quando se deseja modelar em uma escala de longo prazo, elementos que ocorrem em curto. Por exemplo, a movimentação de caminhões se sucede na escala de minutos, ou até mesmo horas; já a escala de tempo de execução de uma atividade como alvenaria, pode durar dias. Logo, se o modelador 4D projetar a movimentação detalhada dos caminhões, sua visualização na escala de execução do empreendimento como um todo (com duração de meses) será extremamente rápida e ínfima dentro da escala temporal. Porém, se for de interesse do modelador 4D projetar os processos críticos, deve-se detalhar a execução da atividade de alvenaria na mesma escala temporal que seus recursos ocorrem; no caso, horas. Assim, a cena estudada terá a mesma grandeza temporal.

Por isso, é importante definir as perguntas que norteiam a construção de modelos 4D, pois as escalas temporais entre os elementos modelados devem ser compatíveis. Do contrário, durante

a visualização 4D, o conflito entre as escalas pode dificultar a análise, tornando ineficaz o alto detalhamento de modelos, caso se visualize numa escala maior um elemento modelado para uma escala de tempo menor; ou, não se terá noção da atividade como um todo, caso se visualize um elemento numa escala menor uma atividade referente a uma escala maior.

Outro objetivo que se pretendeu alcançar nesta pesquisa foi o de identificar os benefícios e dificuldades de se utilizar a modelagem BIM 4D nos processos de projeto e planejamento dos sistemas de produção, e, para isso, foram reconhecidos cenários de utilização dos modelos BIM 4D para apoiar a tomada de decisão nos referidos processos.

De maneira geral, os ganhos trazidos pela tecnologia 4D ao processo de tomada de decisão do projeto e planejamento dos sistemas de produção nos estudos deste trabalho correspondem, principalmente, à possibilidade de visualizar o empreendimento sendo construído e esse criando novas relações espaciais com seu entorno, o que facilitou a tomada de decisão não apenas no que diz respeito sobre a organização e logística de canteiro, mas também, auxiliou na visualização de decisões do PSP e dos planejamentos de longo e médio prazos.

Em função de características físicas, da fase de execução de cada empreendimento, e também da estrutural organizacional de cada empresa, a modelagem BIM 4D possibilitou a obtenção de diferentes resultados.

Os empreendimentos de característica mista (diversos edifícios distribuídos pelo canteiro) utilizaram e obtiveram respostas da modelagem BIM 4D para visualizar e solucionar problemas de espaço para movimentação de equipamentos e suas interferências com as instalações de segurança e estoques. Também foi possível visualizar as consequências nas relações espaciais das alterações na estratégia de ataque do empreendimento com demais instalações de canteiro, e escolher os equipamentos mais adequados aos lotes de produção.

Já nos empreendimentos horizontais, a visualização 4D auxiliou na tomada de decisão da estratégia de ataque para que proporcione o menor deslocamento possível de recursos pelo canteiro de obras. Também se pode identificar os dias de trabalho em progresso nos fluxos dos produtos, e encontrar inconsistências no sequenciamento das atividades.

No caso de empreendimentos verticais, os benefícios da modelagem BIM 4D são semelhantes aos de configuração mista, pois as restrições espaciais do canteiro exigem a escolha do equipamento e da estratégia de ataque adequada. Entretanto, como aconteceu no estudo

empírico 2, os modelos BIM 4D também contribuem para identificar problemas na instalação de proteções coletivas, e para estudar opções de replanejamento no médio prazo para os serviços de fachadas de torres.

De maneira geral, a visualização 4D foi utilizada para simular diversos cenários e alternativas de planos de construção. Esta refletia as alterações que eram feitas em decisões do PSP ou do planejamento de longo e médio prazos. Seu ponto forte está em auxiliar nos estudos de segurança do trabalho, planos de ataque, equipamentos de transporte de materiais/pessoas, instalações provisórias e da interferência que esses itens causam uns sobre os outros.

Entretanto, as animações 4D tem suas limitações quanto à visualização de alterações no fluxo de trabalho, e torna-se difícil enxergar os serviços internos das edificações, e as diferenças entre os prazos de execução dos empreendimentos. Portanto, existem grandes limitações no uso dessa tecnologia para definir ritmos de produção, promover o fluxo contínuo das atividades e ininterrupto das equipes, o que torna seu uso obrigatoriamente dependente de outras ferramentas que também forneçam a visualização de decisões de projeto e planejamento dos sistemas de produção.

Além disso, durante o processo de modelagem BIM 4D, através da manipulação do modelo, o modelador visualiza conflitos de compatibilização entre os projetos de construção, e esses com o planejamento. A manipulação dos modelos é importante, pois os ângulos de visão do espectador mudam constantemente, facilitando encontrar mais conflitos e o ponto de visão ideal para analisar um momento específico da construção. Esse processo é mais enriquecedor do que a simples extração de vídeos, nos quais decisões já foram tomadas e são apenas apresentadas ao espectador, sem lhe oferecer alguma opção de manipular os modelos 4D e encontrar diversas questões para se discutir e estudar mais profundamente.

Assim, dependendo de como são empregados os modelos BIM 4D, os envolvidos no projeto podem visualizar informações incompletas, principalmente, se não houver vínculos da modelagem com outras ferramentas que transpareçam outras decisões do sistema de produção.

Devido a esse fato, no método, produto desta pesquisa, estão estruturados os pré-requisitos para implantação da modelagem BIM 4D nas empresas construtoras com o uso conjunto de diversas ferramentas, mencionadas anteriormente. Essas ferramentas são simples, fáceis de

trabalhar e auxiliam na definição de elementos chave do PSP e PCP, como o fluxo de trabalho, os ritmos de produção, as demandas de recursos e uso de mão de obra, entre outros.

Portanto, é necessário às empresas que implantarem modelos BIM 4D no setor de planejamento, terem formalizados seus processos de projeto e planejamento dos sistemas de produção, e estarem conscientes dos tempos necessários para elaboração dos modelos.

Conforme os dados apresentados nesta pesquisa, a modelagem BIM 4D se mostrou viável dentro dos ambientes das empresas construtoras em relação ao tempo despendido para conceber modelos BIM 3D e 4D. Há indicações de que existem ganhos obtidos pelo uso da visualização 4D compensam o dispêndio de horas de trabalho para preparar o modelo, embora tais ganhos não tenham sido quantificados de forma detalhada. Esse tempo diminuiria drasticamente caso as empresas já desenvolvessem seus projetos em BIM. Todavia, modelar 4D exige do profissional conhecimento aprofundado em BIM e em ferramentas de planejamento compatíveis com os programas de modelagem.

Este trabalho apresentou os principais benefícios e dificuldades encontrados pelo uso da modelagem BIM 4D na gestão da produção em quatro estudos empíricos. Os estudos permitiram a construção do método para auxiliar à tomada de decisão no projeto e planejamento de sistemas de produção utilizando a modelagem BIM 4D como uma ferramenta que sintetiza, ao mesmo tempo em que complementa decisões preliminarmente tomadas acerca dos sistemas produtivos, apresentando seus aspectos espaciais e rematando o planejamento.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do processo de elaboração deste trabalho, emergiram sugestões de estudos aprofundados:

- a) implementar o método proposto nesta pesquisa em uma empresa construtora que já domine a tecnologia BIM, para que o mesmo possa ser avaliado e refinado;
- b) estudar como as demais dimensões de informações (nD) dos modelos BIM podem auxiliar na tomada de decisão na gestão da produção;

- c) estudar o detalhamento de modelos BIM 4D de um empreendimento para diferentes clientes (investidores, clientes, fornecedores, entre outros);
- d) elaborar um ambiente digital para vincular automaticamente ferramentas de planejamento e controle, tais como a linha de balanço, diagramas de sincronia e sequenciamento e histograma de recursos aos modelos BIM 4D.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Brasil). **NBR ISO 15965-1:2011: Sistema de classificação da informação da construção Parte 1: Terminologia e estrutura.** Rio de Janeiro, 2011.

AGC. **The Contractors' Guide to BIM, Associated General Contractors (AGC) of America.** Disponível em: <[www.agc.org](http://www.agc.org)>. Acesso em: 20 novembro, 2011.

AIA, 2008. **AIA Document E202 – Building Information Modeling Protocol Exhibit.** 2008.

AKBAŞ, Ragıp. Geometry-Based Modeling and Simulation of Construction. **Technical Report #151**, Stanford: CIFE, 2004.

AKKARI, A. M. P.. **Interligação entre o planejamento de longo, médio e curto prazo com o uso do pacote computacional MsProject.** 2003. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALARCON, Luis F.; BETANZO, Cristian; DIETHELM, Sven. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 12., 2004, Copenhagen. **Proceedings...** . Copenhagen, Dinamarca: IGLC, 2004.

ALVES, T. **Diretrizes para a gestão dos fluxos físicos em canteiros de obras: Proposta Baseada em Estudo de Caso.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ALVES, T. C. L.; Tommelein, I. D. (2007). Cadeias de suprimentos na construção civil: análise e simulação computacional. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 31-44, abr./jun, 2007.

AOUAD, G.; ARAYICI, Y. **Requirements Engineering for Computer Integrated Environments.** Wiley-Blackwell, 2010.

ARANDA-MENA, G. CRAWFORD, J. CHEVEZ, A.; FROESE, T. Building information modelling demystified: does it make business sense to adopt BIM? **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 2, n. 3, p. 419-434, 2009. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/17538370910971063>>. Acesso em: 28 julho 2011.

ASKIN, Ronald G.; GOLDBERG, Jeffrey B.. **Design and Analysis of Lean Production Systems.** New York: John Wiley & Sons, 2002.

ASSUMPCÃO, J.F.P. **Programação de obras: uma abordagem sobre técnicas de programação e uso de software.** 1988.147 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1988.

AUTODESK, Inc. Parametric Building Modeling: BIM's Foundation. **Revit Building Information Modeling**, p. 6, 2007.

BACCARINI, D. The concept of project complexity—a review. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0263786395000933>>. .

BALLARD, G. The last planner. In: SPRING CONFERENCE OF THE NORTHERN CALIFORNIA CONSTRUCTION INSTITUTE, 6., 1994, Monterey, CA. **Proceedings...** Monterey, CA: LCI, 1994.

BALLARD, Glenn. Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control, In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 5., 1997, Gold Coast. **Proceedings...** . Gold Coast, Australia: IGLC, pp. 13-26, 1997.

BALLARD, Glenn. Work Structuring. Las Vegas, NV: **LCI White Paper #4**, June, 1999.

BALLARD, Glenn. Phase Scheduling. **LCI White Paper # 7**, April 2000a.

BALLARD, Glenn. Lean Project Delivery System. **LCI White Paper #8** (Revision 1), September, 2000b.

BALLARD *et al.*, Production System Design: Work Structuring Revisited. **LCI White Paper #11**, January, 2001a.

BALLARD, Glenn *et al.* Production system design in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 9., 2001, Singapura. **Proceedings...** . Singapura: IGLC, 2001b.

BALLARD, Glenn. Phase Scheduling. **P2SL Research Workshop**. April 30, 2008a.

BALLARD, Glenn. The Lean Project Delivery System: An Update. **Lean Construction Journal**. 2008b. p. 1-19.

BALLARD, G.; HOWELL, G. **Shielding Production: An Essential Step in Production Control**. Technical Report No. 97-1, Construction Engineering and Management Program, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, 1998.

BALLARD, Glenn; PICCHI, Flavio; SACKS, Rafael. **Production System Design**. Disponível em: <<http://www.iglc.net/Themes/Production%20System%20Design.pdf>>. Acesso em: 09 abril 2012.

BERNARDES, M. M. S. **Desenvolvimento de um modelo de planejamento e controle da produção para micro e pequenas empresas de construção**. 2001. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BJÖRNFOT, A.; JONGELING, R.. **Application of line-of-balance and 4D CAD for lean planning**. **Construction Innovation**, Bingley, UK, p. 200-211. 2007.

BSI; BuildingSMART. **Constructing the business case: Building information modelling**. London, 2010.

BuildingSMART. **International Alliance for Interoperability**. Disponível em: <[www.buildingsmartalliance.org](http://www.buildingsmartalliance.org)>. Acesso em: 20 novembro 2011.

BULHÕES, I. R. **Diretrizes para implementação de fluxo contínuo na construção civil : uma abordagem baseada na Mentalidade Enxuta**, 2009. 332f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual de Campinas.

COBLE, Richard J.; BLATTER, Robert L.; AGAJ, Indrid. APPLICATION OF 4D CAD IN THE CONSTRUCTION WORKPLACE. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abington/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 195-210.

COLLIER, Eric; FISCHER, Martin. **Four-Dimensional Modeling in Design and Construction**. CIFE Technical Report # 101 Salford: Salford University, 1995.

COSTA, Dayana Bastos. **Planejamento e controle de obras**. Notas e transparências de aula. Departamento de Construção e Estruturas – Universidade Federal da Bahia. 2010.

DAVE, Bhargav *et al.*. A critical look at integrating people, process and information systems within the construction sector. In: ANNUAL LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 16., Manchester, 2008. **Proceedings...** International Group of Lean Construction (IGLC), 2008.

EASTMAN, C. M. **Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction**. Boca Raton: CRC Press, 1999. 411p., Chapter 4.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.

FISCHER, Martin; HAYMAKER, John; LISTON, Kathleen. BENEFITS OF 3D AND 4D MODELS FOR FACILITY MANAGERS AND AEC SERVICE PROVIDERS. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abington/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 1-32.

FISCHER, Martin; LISTON, Kathleen McKinney; PAPERLESS Design Project Team at Walt Disney Imagineering. Wish List for 4D Environmenys: a WDI R&D perspective. **4D CAD Research**. 02 fev. 2001. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/4D/issues/wishlist.shtml>>. Acesso em: 30 abril 2011.

FLOOD, Ian. A hierarchical constraint-based approach to modeling construction and manufacturing processes. In: Winter Simulation Conference, 2009, Austin. **Proceedings...** Austin: WSC, 2009. p. 2583-2592.

FORMOSO, C.T. **A Knowledge Based Framework for Planning House Building Projects**.1991. 327p. Thesis (Doctorate) - University of Salford - Department of Quantity and Building Surveying. Salford, 1991.

FORMOSO, C. T.; BERNARDES, M. M. S.; OLIVEIRA, K. A. Z.; OLIVEIRA, L. F. M. **Termo de Referência para Planejamento e Controle da Produção na Construção Civil**. São Paulo: SINDUSCON-SP, 1999. 50 p. (Relatório Técnico).

FORMOSO, Carlos Torres (Org.). **Planejamento e controle da produção em empresas de construção**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, 2001.

FORMOSO, Carlos Torres; SCHRAMM, Fábio Kellermann. **Programa de capacitação em projeto do sistema de produção - PSP**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, 2008.

FUKAI, Dennis. BEYOND SPHERELAND: 4D CAD IN CONSTRUCTION COMMUNICATIONS. In: ISSA, Raja R.A.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abington/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 33-54.

HALFAWY, Mahmoud; FROESE, Thomas. Building Integrated Architecture/Engineering/Construction Systems Using Smart Objects: Methodology and Implementation. **Journal of Computing in Civil Engineering**, p. 172-181. 1 abr. 2005.

HARTMANN, Timo *et al.* **Fulton Street Transit Center Project: 3D/4D Model Application Report**. TR170 Stanford: Salford University, 2007.

HARTMANN, Timo; GAO, Ju; FISCHER, Martin. Areas of application for 3D e 4D models on construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management, ASCE**, p. 776-785. out. 2008.

HAYMAKER, J.; FISCHER, M., **Challenges and benefits of 4D modeling on the Walt Disney Concert Hall Project**. CIFE Working Paper #064, Stanford University, Sanforn, CA, 18 jan, 2001.

HOPP, W.J.; SPEARMAN, M. L. **Factory physics: foundations of manufacturing management**. Boston: Irwin Mc Graw-Hill, 1996. 668p.

GAITHER, Norman; FRAZIER, Greg. **Administração da Produção e Operações**. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GRIFFIS, F. H., STURTS, Carrie S. FULLY INTEGRATED AND AUTOMATED PROJECT PROCESS (FIAPP) FOR THE PROJECT MANAGER AND EXECUTIVE. In: ISSA, Raja R.A.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abington/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 55-74.

GSA. **GSA Building Information Modeling Guide Overview**. Series 01. 2007.

KASANEN, E., LUKKA, K.; SIITONEN, A. The constructive approach in management accounting. **Journal of Management Accounting Research**. v.5, p. 243-264, 1993.

KASIK, *et al.* Evaluating graphics displays for complex 3D models. **IEEE Comput. Graph. Appl.**, v. 22, p. 56-64, 2002.

KHANZODE, Atul *et al.* **A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process**. #093 Stanford University: Cife Working Paper, dez. 2006. 47 p.

KHATIB, J.M.; CHILESHE, N.; SLOAN, S.. Antecedents and benefits of 3D and 4D modelling for construction planners. **Journal of Engineering, Design and Technology**, Bingley, UK, p. 159-172. 2007.

KAMAT, V. R.; MARTINEZ, J. C. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference R .G. Ingalls, M. D. Rossetti, J. S. Smith, and B. A. Peters, eds. **Simulation**, 2004.

KOO, Bonsang; FISCHER, Martin. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. CIFE Technical Report # 118 Salford: Salford University, 1998.

KOSKELA, L. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford: Centre of Integrated Facility Engineering, 1992. Technical Report 72.

KOSKELA, Lauri. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298 f. Tese (Doutorado) - Technical Research Centre of Finland, Espoo, 2000.

KOSKELA, L.; BALLARD, G. What should we require from a production system in construction? **Construction Research**, p. 1-8, 2003.

KOSKELA, Lauri; KAZI, Abdul Samad. Information Technology in Construction: How to Realise the Benefits? In: CLARKE, Steve *et al.* (Comp.). **Socio-Technical and Human Cognition Elements of Information Systems**. Hershey: Idea-group, 2003. p. 60-75.

KUNZ, John; FISCHER, Martin. **Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions**. Stanford: CIFE Working Paper #097, 2011.

KYMMELL, W. **Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations**. McGraw-Hill, 2008. p 6.

LAUFER, A. **Simultaneous Management**. United States: AMACOM, 1997.

LAUFER, Alexander; TUCKER, Richard L.. Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process. **Construction Management And Economics**, p. 243-266. 1987.

LEE, A. MARSHALL-PONTING, A. J. AOUAD, G. *et al.* **Developing a Vision of nD-Enabled Construction**. Salford, 2002.

LEE, A.; SEXTON, M. G. nD modelling: industry uptake considerations. **Construction Innovation: Information, Process, Management**, v. 7, n. 3, p. 288-302, 2007. Disponível em: <<http://www.emeraldinsight.com/10.1108/14714170710754768>>. Acesso em: 18/10/2011.

LEITE, F. AKCAMETE, A. AKINCI, B. ATASOY, G.; KIZILTAS, S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 601-609, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580510002086>>. Acesso em: 23/7/2011.

LIU, Q.; GAO, T. Research on Application of BIM Technology in Construction Project. **International Conference on Computer Science and Service System (CSSS)**, p. 2463-2467, 2011.

LEINONEN, Jarkko; KÄHKÖNEN, Kalle; HEMIÖ, Tero; RETIK, Arkady. NEW CONSTRUCTION MANAGEMENT PRACTICE BASED ON THE VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 75-100.

LEAN INSTITUTE BRASIL (LIB). **Léxico Lean. Glossário ilustrado para praticantes do pensamento lean**. Tradução de Lean Institute Brasil. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2003

LUKKA, K. The constructive research approach. In: **Case study research in logistics** (edited by Ojala, L.; Hilmola, O-P.). Series B1. P. 83-101. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F.. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15, p. 251-266. 1995.

MARCHESAN, P. R. C. **Módulo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis**. 2001. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2008. 277 p.

MARTIN, J.; McCLURE, C. **Técnicas estruturadas e CASE**. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1991. 854 p.

MCKINNEY, K.; FISCHER, M.; KUNZ, J.. Visualization of Construction Planning Information. In: **SIGART INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT USER INTERFACES**. San Francisco: ACM, 1998. p. 135-138.

MEREDITH, Jack R.; SHAFER, Scott M.. **Administração da produção para MBAs**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MIHINDU, S.; UNDERWOOD, J. **Pragmatic approach for adoption of BIM within the construction industry**. Salford: Construction IT for Business, 2010.

MILBERG, Colin. Tolerance considerations in work structuring. In: ANNUAL LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 15., Michigan, 2007. **Proceedings...** International Group of Lean Construction (IGLC), 2007.

MOTA, Bruno Pontes; MOTA, Ricardo Rôla; ALVES, Thaís da Costa Lago. Implementing Lean construction concepts in a residential project. In: IGLC, 16., 2008, Manchester, UK. **Proceedings...** Manchester, UK: IGLC, 2008. p. 251 – 257

O'BRIEN, William J.. 4D CAD AND DYNAMIC RESOURCE PLANNING FOR SUBCONTRACTORS: CASE STUDY AND ISSUES. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 101-124.

PAPAMICHAEL, K. Application of information technologies in building design decisions. **Building Research & Information**, v. 27, n. 1, p. 20-34, 1999. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/096132199369624>>. .

RECK, R. H.. **Aplicação do índice de boas práticas de planejamento em empresas construtoras da região metropolitana de porto alegre**. 2010. 96 f. Trabalho de diplomação (Graduado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

RILEY, David. THE ROLE OF 4D MODELING IN TRADE SEQUENCING AND PRODUCTION PLANNING. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications**. Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 125-144.

RISCHMOLLER, L., ALARCÓN, L. F., 4D-PS: Putting and IT new work process into effect. In: International Conference CIB W78, Denmark, 2002. **Proceedings...** Conference Proceedings – Distributing Knowledge in Building, 2002.

ROBINSON, S. et al. Simulation model reuse: definitions, benefits and obstacles. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 12, p. 479–494, 2004.

RODRIGUES, A.A. **O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALIBY, E. **Repensando a Simulação: a Amostragem Descritiva**. São Paulo: Atlas/EDUFRJ, 1989.

SACKS, R.; TRECKMANN, M.; ROZENFELD, O.. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, ASCE, p. 1307-1315. dez. 2009.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SCHRAMM, Fábio Kellermann; COSTA, Dayana Bastos; FORMOSO, Carlos Torres. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p.59-74, abr./jun. 2006.

SCHRAMM, Fábio Kellermann. **Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão**. 2009. 299 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SEBRAE-MG. **Perfil Setorial: Construção Civil**. Minas Gerais, 2005.

SLACK, Nigel *et al.*. **Operations and Process Management: Principles and practice for strategic impact.** Prentice Hall, 2006.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Operations Management.** 5. ed. Prentice Hall, 2007.

TOBIN, J.. **Proto-Building: To BIM is to build.** Disponível em: <[http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding\\_pr.html](http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2008/ProtoBuilding_pr.html)>. Acesso em: 31 de Outubro de 2011.

TOMMELEIN, I. Pull-Driven Scheduling for Pipe-Spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.124, n.4, p. 279-288, jul/aug, 1998.

TOMMELEIN, I.; BALLARD, G. Look-Ahead Planning: Screening and Pulling. In: Seminário Internacional sobre Lean Construction, 2, 20-21 Out., 1997. São Paulo. **Anais...**

TOMMELEIN, Iris D. ACKNOWLEDGING VARIABILITY AND UNCERTAINTY IN PRODUCT AND PROCESS DEVELOPMENT. In: ISSA, Raja R.a.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications.** Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 165-194.

TSAO *et al.*. Case study for work structuring: installation of metal door frames. In: ANNUAL LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 8., Brighton, UK, 2000. **Proceedings...** International Group of Lean Construction (IGLC), 2000.

TSAO, C. C. Y., TOMMELEIN, I. D.. Creating Work Structuring transparency in curtain wall design. In: ANNUAL LEAN CONSTRUCTION CONFERENCE, 12., Copenhagen, 2004. **Proceedings...** International Group of Lean Construction (IGLC), 2004.

TSAO, C. C. Y.. **Use of work structuring to increase performance of project-based production systems.** 2005. 325 f. Tese (Doutorado) – University of California, Berkeley, 2005.

VAN AKEN, J. E. Management Research Based on the Paradigm of the Design Sciences: The Quest for Field-Tested and Grounded Technological Rules. **Journal of Management Studies.** v. 41, n. 2, p. 219-246, 2004.

YERRAPATHRUNI, Sai. **Using 4D CAD and Immersive Virtual Environments to Improve Construction Planning.** 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado) - The Pennsylvania State University, Pennsylvania, 2003.

YIN, Robert K.. **Case study research: design and methods.** 3. ed. California, USA: SAGE Publications, 2003. (Applied social research methods series). v. 5.

WAKAMATSU, A.; CHENG, L. Y.. **Metodologia de posicionamento dos elementos do canteiro de obras utilizando a teoria de sistema nebuloso.** São Paulo: EPUSP, 2001. 26 p.

WARE, C. **Information Visualization: Perception for Design.** Morgan Kaufmann Publishers, Inc., San Francisco, California, 2000.

WEBB, Robert M.; HAUPT, Theo C.. THE POTENTIAL OF 4D CAD AS A TOOL FOR CONSTRUCTION MANAGEMENT. In: ISSA, Raja R.A.; FLOOD, Ian; O'BRIEN, William J.. **4D CAD and Visualization in Construction: Developments and Applications.** Lisse/Abingon/Exton (PA)/Tokyo: A.A. Balkema Publishers, 2005. p. 227-242.

WHYTE, J.. Innovation and users: Virtual reality in the construction sector. **Construction Management and Economics.** v. 21, p. 565–572. 2003.

## APÊNDICE – FORMULÁRIO PARA ELABORAÇÃO DO DFD

 <b>NORIE</b>	<b>Tecnologias da Informação e Comunicação  aplicadas à Construção de Habitações de  Interesse Social</b>	Data:	Local:
	<b>Formulário para elaboração do DFD</b>	Horário Início:	Horário Fim:
Nome do Entrevistado: Contato: Escolaridade: Função na Empresa:		Tempo de atuação na empresa: Tempo de atuação na função: Setor:	

### FASE INICIAL:

1. Quais são as informações que o Sr.(a) recebe diariamente para a realização do planejamento da produção?
2. De onde vêm essas informações?
3. A que se destinam tais informações?
4. O que é feito com a informação recebida?
5. Quais são os tipos de decisões que são tomadas de posse dessas informações?
6. As informações que chegam ao planejamento, quais são realmente importantes para gerar os planos?
7. Após a tomada de decisão, o que é feito?
8. Como o Sr.(a) transmite suas decisões para outros departamentos?
9. Gostaria de dar alguma sugestão de aplicativo computacional que poderia lhe auxiliar no desenvolvimento de sua atividade?
10. Tem conhecimento de algum software existente no mercado que auxilia este tipo de trabalho?
11. Haveria algum tipo de informação que o Sr.(a) acha que é necessária para seu trabalho e não é coletada?

### PERGUNTAS COMPLEMENTARES (processo):

12. Pode explicar o relacionamento de seu Departamento com os demais Departamentos da Empresa?
13. Que ações poderiam ser tomadas para melhorar o fluxo de informações entre o seu processo e os intervenientes?

### TÉRMINO DA ENTREVISTA:

14. Gostaria de acrescentar alguma coisa que ainda não comentou?