

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

GUILHERME TRENTIN HAMERSKI

**INTEGRANDO BIM 4D NO PROJETO DE SISTEMAS DE
PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO PARA UM
EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO**

Porto Alegre

Abril 2023

GUILHERME TRENTIN HAMERSKI

**INTEGRANDO BIM 4D NO PROJETO DE
SISTEMAS DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE
CASO PARA UM EMPREENDIMENTO
RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Daniela Dietz Viana

Porto Alegre

Abril 2023

GUILHERME TRENTIN HAMERSKI

**INTEGRANDO BIM 4D NO PROJETO DE SISTEMAS DE
PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO PARA UM
EMPREENHIMENTO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, abril de 2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Daniela Dietz Viana (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil
Orientadora

Prof. Eduardo Luís Isatto (UFRGS)

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Bernardo Martim Beck da Silva Etges (UFRGS)

Mestre em Eng. de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Roque Edgar e Helena Maria, assim como a toda minha família, pela imensa dedicação, carinho e suporte que recebi durante minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino de qualidade e pelas diversas experiências acadêmicas que contribuíram imensamente na minha formação profissional.

Agradeço a minha orientadora, Daniela Dietz Viana pelo conhecimento compartilhado, pela paciência e apoio para elaboração do trabalho e crescimento intelectual.

Agradeço à empresa M pela contribuição na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de estágio em 2019 e pelos 3 anos e 9 meses de muito crescimento profissional e pessoal.

Agradeço a minha família por todo o carinho que sempre tiveram comigo, pelo apoio nas minhas escolhas e alegria que me trazem. Agradeço especialmente aos meus pais, Roque Edgar e Helena Maria, pelo imenso amor e cuidados comigo que me incentivam a buscar meus objetivos, fazer meu melhor e me tornar uma pessoa tão incrível quanto eles.

Agradeço a minha namorada, Júlia Guedes Borges, por estar ao meu lado em todos os momentos, por me apoiar nos momentos mais difíceis e por ser a razão dos meus momentos mais felizes. Que lindo foi concluir nosso ciclo na graduação juntos, compartilhando experiências e juntos sempre. Não existem palavras que possam descrever o quanto sou agradecido.

Agradeço aos meus amigos, especialmente aos que fiz durante à graduação, pelos momentos de tanta alegria que tivemos, pelo esforço e dedicação nos trabalhos que fizemos durante à graduação, pelos cafés cheios de risadas que aproveitamos durante os intervalos e por me fazerem acreditar em um futuro com pessoas e profissionais ainda melhores.

Agradeço a todos os meus professores, desde o ensino infantil até a graduação, por terem me guiado e inspirado ao longo desta jornada de aprendizado.

Expresso minha gratidão a todos que, de alguma maneira, contribuíram para minha formação como engenheiro civil, fazendo-me compreender a importância e a responsabilidade que esta profissão carrega.

Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de
gigantes.

Isaac Newton

RESUMO

A gestão da produção na construção civil é um grande desafio, envolvendo planejamento, coordenação de equipes, recursos, controle de custos e prazos, entre outros. A gestão da produção é fundamental para o sucesso das empresas e a melhoria constante é necessária. O planejamento é uma atividade importante na gestão da produção, permitindo a definição de objetivos, estratégias, metas e planos de ação. Entretanto, na maioria dos casos não se leva em conta diversos aspectos complexos da construção civil. Sendo assim, este estudo busca avaliar a utilização do BIM 4D como meio de aperfeiçoar as etapas de um Projeto de Sistema de Produção para um empreendimento de alto padrão na cidade de Porto Alegre – RS. A utilização da tecnologia BIM 4D permite a avaliação de diferentes cenários e o melhor entendimento dos envolvidos no processo de produção do sequenciamento das atividades e como elas se relacionam. A integração dessa ferramenta com o Projeto de Sistema de Produção (PSP) tem a intenção de estabelecer as diretrizes e as estratégias para a execução da obra, levando em consideração as especificidades do projeto e as demandas do cliente. Com isso, esse estudo se caracteriza como um estudo de caso e foi dividido nas etapas de definição do problema a ser estudado e objetivos, embasamento teórico quanto aos conceitos de gestão da produção que envolvem o PSP e a modelagem 4D, e o desenvolvimento do estudo de caso a partir da análise do sistema produtivo da empresa em questão. Concluiu-se que a utilização da tecnologia 4D vinculada a uma metodologia de planejamento a longo prazo permitiu a obtenção de uma visão mais precisa do processo de construção, identificar pontos de melhoria e potenciais gargalos, além de gerenciar o fluxo de trabalho de forma mais eficiente.

Palavras-chave: BIM; BIM 4D; Projeto de Sistema de Produção; PSP; análise de cenários; planejamento de longo prazo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo de entrada-transformação-saída de Slack	20
Figura 2 - Esquema de subdivisão dos processos.....	21
Figura 3 - Representação da função produção como processo de fluxo.	22
Figura 4 - Esquema da relação das expectativas dos clientes com a agregação de valor....	22
Figura 5 - Diagrama representativo da sequência lógica da decisão de terceirizar.	26
Figura 6 - Exemplo de representação gráfica do mapeamento de processos.	33
Figura 7 - etapas da elaboração do PSP.....	36
Figura 8 - Método para modelagem de PSP segundo Reck (2013).....	43
Figura 9 - Imagem de divulgação do empreendimento estudado.....	44
Figura 10 - Planta baixa do apartamento de 100 m ²	45
Figura 11 - Planta baixa do apartamento com 148 m ²	45
Figura 12 – Fluxograma do processo padrão de planejamento da empresa M.....	50
Figura 13 - Diagrama representativo da EAP padrão do cronograma executivo.	52
Figura 14 - Planta baixa do térreo com indicação de acessos e posição PDV.	54
Figura 15 - Corte esquemático indicando as repetições da unidade base.....	55
Figura 16 - Nível 1 do sistema de localização da unidade base.	55
Figura 17 - Nível 2 do sistema de localização da unidade-base.....	56
Figura 18 - Diagrama de precedência das atividades da unidade-base	57
Figura 19 - Modelo da unidade base: (a) Não modificado (b) modificado para análise das instalações.	60
Figura 20 - Linha de balanço considerando precedências do cronograma executivo em elaboração.....	63
Figura 21 - Linha de balanço considerando fluxo contínuo das atividades.....	64
Figura 22 - Hierarquia de zonamento do plano de ataque inicial da obra em estudo.....	65
Figura 23 - Seção do modelo 3D com indicação do zoneamento do embasamento e posição de equipamentos de transporte vertical.	66
Figura 24 - Recorte da linha de balanço do empreendimento entre as semanas 1 e 27 para o cenário 1.	67
Figura 25 - Indicação do acréscimo de equipe para reboco interno na LB da unidade base.	68
Figura 26 - Recorte da linha de balanço do empreendimento entre as semanas 1 e 27 para o cenário 2.	69
Figura 27 - Simulação 4D: serviço de concretagem das vigas baldrames do setor 1.....	74
Figura 28 - Simulação 4D do serviço de concretagem e montagem das vigas baldrames e blocos de fundação do setor 1,2 e 3.....	74

Figura 29 - Simulação 4D da estrutura: Falha no sequenciamento das atividades de contenções e lajes Setor 1 nível Térreo.	75
Figura 30 - Simulação 4D da estrutura: identificação de impacto dos caminhões na via pública durante a concretagem do Setor 2.	75
Figura 31 - Simulação 4D da estrutura: identificação de impacto das instalações provisórias na execução do Setor 2.	76
Figura 32 - Simulação 4D: Identificação do fluxo de recebimento de materiais e estoque de blocos de alvenaria.	77
Figura 33 - Simulação 4D: Identificação do fluxo de recebimento de materiais e estoque de blocos de alvenaria.	77
Figura 34 - Vista 3D da segunda etapa de mobilização das instalações provisórias.	78
Figura 35 - Simulação 4D: Seção horizontal do nível térreo com identificação das etapas de mobilização das provisórias de obra.	79
Figura 36 - Layout do canteiro durante a execução da supra estrutura do Térreo.	80
Figura 37 - Simulação 4D: Identificação de conflito entre posição da mini grua e execução da laje térrea do Setor 4.	80
Figura 38 - Simulação 4D: sugestão de novo posicionamento para mini grua.	81
Figura 39 - Layout do canteiro durante a execução da estrutura e alvenaria da torre.	81
Figura 40 - Layout de canteiro para etapa 2 das instalações provisórias.	82
Figura 41 – Indicação das zonas de trabalho da cobertura.	83
Figura 42 - Etapa 1 das atividades da cobertura.	84
Figura 43 - Etapa 2 das atividades da cobertura.	84
Figura 44 - Etapa 3 das atividades da cobertura.	85
Figura 45 - Etapa 4 das atividades da cobertura.	85
Figura 46 - Etapa 5 das atividades da cobertura.	86
Figura 47 - Etapa 6 das atividades da cobertura.	86
Figura 48 - Trecho da LB com a indicação do prazo para conclusão da cobertura.	87
Figura 49 - Sequência de atividades da cobertura para liberação das atividades de fachada.	88
Figura 50 - Posição 1 dos reservatórios na cobertura.	89
Figura 51 - Posição 2 dos reservatórios na cobertura.	89
Figura 52 - Histograma da equipe de hidráulica.	90
Figura 53 - Histograma da equipe de alvenaria.	91
Figura 54 - Histograma da equipe de impermeabilização.	91
Figura 55 - Histograma da equipe de instalações elétricas.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Visão geral sobre problemas relacionados às peculiaridades da construção e soluções correspondentes.....	30
Quadro 2 – Cenários estudados para estratégia de execução do empreendimento.....	66
Quadro 3 – Resumo da análise da estratégia do empreendimento com uso do BIM 4D.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Meta de durações de atividades.....	53
Tabela 2 - Planilha de pré dimensionamento de recursos da unidade base.....	59
Tabela 3 - Tabela de cálculo estimativo do número de equipes necessárias para execução do reboco externo.	70

LISTA DE SIGLAS

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PSP - Projeto de Sistema de Produção

BIM – *Building Information Modeling*

EAP – Estrutura Analítica de Projeto

LBM – *Location-Based Management*

TVF – Transformação-fluxo-valor

WIP – *Work in Progress*

STP – Sistema Toyota de Produção

LB – Linha de Balanço

EPC – Equipamentos de proteção coletiva

SED – Simulação de Eventos discretos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 ESCOPO DO TRABALHO	15
1.2.1 Problema de Pesquisa.....	15
1.2.2 Questão de Estudo	16
1.2.3 Objetivos do Estudo	16
1.2.3.1 Objetivo Principal.....	17
1.2.3.1 Objetivo Secundário	17
1.2.4 Premissa.....	17
1.2.5 Limitações	17
1.2.6 Estrutura do trabalho	18
2 SISTEMA PRODUTIVO DA CONSTRUÇÃO CIVIL	19
2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO NA ABORDAGEM ENXUTA.....	19
2.2 A CONSTRUÇÃO SOB A VISÃO ENXUTA.....	23
2.3 PROJETO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO	25
2.3.1 Nível de Integração Vertical	26
2.3.2 Capacidade de Produção	27
2.3.3 Arranjo Físico (Layout) e Fluxos Produtivos	28
2.3.4 Sincronização da Produção	29
2.3.5 Projeto de Processos Críticos	31
2.4 O PSP NA CONSTRUÇÃO CIVIL	33
2.4.1 Modelos para PSP na Construção Civil	33
2.4.1.1 PSP em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social	33
2.4.1.2 PSP em Empreendimentos Complexos	36
2.4.2 Location-Based Management (LBM)	37
2.4.3 Takt-time Planning (TTP).....	38
3 BIM 4D	40
3.1 MODELAGEM 4D PARA O PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO	40
3.1.1 MODELOS PARA O USO DE BIM 4D NO PLANEJAMENTO	41
3.1.1.1 Método para Projeto e Planejamento de Sistemas Produtivos da Construção Civil com o uso do BIM 4D	41
3.1.1.2 Integração da Simulação de Eventos Discretos e Visualização BIM 4D no Projeto de Sistema de Produção.....	42

4 METODOLOGIA.....	44
4.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO E ESTRATÉGIA ESCOLHIDA.	44
4.1.1 Fontes de evidências	46
4.1.1.1 Entrevistas	46
4.1.1.2 Análise de Documentos	47
4.2 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	47
5 DESENVOLVIMENTO.....	50
5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE OBRAS	50
5.2 ANÁLISE DO SISTEMA PRODUTIVO A PARTIR DA METODOLOGIA DE PSP ..	52
5.2.1 Captação Das Necessidades Do Cliente	52
5.2.2 Definição da sequência de execução da unidade base e pré-dimensionamento da capacidade produtiva	54
5.2.2.1 MODELO DA UNIDADE BASE E SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES ..	59
5.2.3 Estudo dos fluxos de trabalho da unidade base	61
5.2.4 Estudo dos Fluxos de Trabalho do Empreendimento e Estratégia de Produção	65
5.2.4.1 Cenário 1 – Estrutura com 1 fornecedor.....	67
5.2.4.2 Cenário 2 – Estrutura com 2 fornecedores	68
5.2.4.3 Cenários 3 e 4 – Reboco externo com 1 e 2 fornecedores.....	69
5.2.5 Definição da Estratégia, Modelagem e Simulação 4D.....	70
5.2.6 Análise do Plano de Ataque com Modelagem 4D	72
5.2.7 Layout de canteiro.....	78
5.2.8 Identificação e Projeto de Processo Crítico.....	82
5.2.8.1 Estudo de <i>layout</i> e de capacidade de processo	83
5.2.8.2 Definição da sequência de execução do processo	88
5.2.8.3 Avaliação da capacidade <i>versus</i> demanda.....	90
6 DISCUSSÃO E ANÁLISE.....	93
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS	101

1 INTRODUÇÃO

O capítulo de introdução tem como objetivo apresentar o tema do trabalho, justificando sua relevância e delimitando os principais aspectos abordados. O primeiro tópico do capítulo de introdução fornece uma visão geral do tema do trabalho, demonstrando sua relevância e importância para a área de estudo. O segundo tópico, o escopo do trabalho, refere-se aos limites e fronteiras do projeto, definindo o que será incluído e excluído do trabalho. Descreve o problema estudado, a questão a ser respondida, os objetivos, premissas e limitações do projeto, delimitando o que será realizado e quais são as expectativas do projeto.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A gestão da produção se apresenta como um grande desafio no setor da construção civil uma vez que envolve aspectos como planejamento, coordenação de equipes, gestão de recursos, controle de custos e prazos, entre outros. Nesse cenário, Ballard e Howell (1998) citam a importância de se administrar a incerteza, a complexidade e a rapidez dentro das condições de construção características da produção do local, do produto exclusivo e da organização temporária características do setor. Portanto, a gestão da produção é um aspecto fundamental para o sucesso e a sustentabilidade das empresas de construção civil, e a busca constante pela melhoria das práticas é imprescindível para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades do setor.

O planejamento é uma das principais atividades dentro da gestão da produção, pois permite a definição de objetivos, estratégias, metas e planos de ação para a realização das atividades produtivas. Um planejamento bem elaborado permite a otimização dos recursos disponíveis, a redução de custos e prazos e a melhoria da qualidade dos produtos e serviços oferecidos. Todavia, o planejamento tem se resumido, em geral, à produção de orçamentos, de programações e de outros documentos referentes às etapas a serem seguidas durante a execução do empreendimento (BALLARD; HOWELL, 1997).

A partir destas dificuldades, o setor da construção civil passou a procurar adaptar conceitos, métodos e técnicas desenvolvidos para ambientes de produção industrial (SCHRAMM, 2004), buscando a maximização do valor agregado e redução do desperdício. A filosofia da Construção

Enxuta, por exemplo, já trouxe resultados significativos para diversas empresas, sendo orientada para eliminação de atividades que não agregam valor e oriundo do *Lean Manufacturing* (ou Sistema Toyota de Produção). Apesar disso, em grande parte das construtoras, utilizam-se apenas algumas características ou ferramentas do STP – por exemplo o *Just in time* e o *Kanban* – sem compreender, de fato, as raízes conceituais do sistema e suas implicações (ANTUNES *et al.*, 2008), ainda mais quando tratamos de adaptar conceitos à construção civil. Dentro das práticas propostas por essa filosofia, a atividade de Projeto do Sistema de Produção (PSP) representa a primeira tarefa gerencial a ser realizada no início de qualquer esforço produtivo (BALLARD *et al.*, 2001), sendo o principal elo que conecta as atividades de projeto do produto e a sua execução, através do processo de planejamento e controle da produção (SCHRAMM, 2006). O PSP consiste no planejamento e na definição dos processos, equipamentos, materiais e recursos humanos necessários para a realização de uma obra. É nessa fase que se estabelecem as diretrizes e as estratégias para a execução da obra, levando em consideração as especificidades do projeto e as demandas do cliente.

Para Rodrigues (2006), realizar o Projeto de Sistema de Produção ajuda a identificar soluções que melhor atendam às necessidades dos clientes, fornecedores e construtora. Essa etapa gerencial se torna ainda mais importante quando tratamos de empreendimentos complexos, ou seja, com baixo grau de repetitividade. Segundo Ballard e Howell (1998), nesses casos apenas uma estratégia de produção não é suficiente para a superação das dificuldades do processo de construção. Um dos principais benefícios do PSP na gestão de empreendimentos complexos é que sua elaboração permite ao gestor ter uma visão sistêmica do empreendimento como um todo, identificando as inter-relações dos principais fluxos e, assim, encontrando soluções mais adequadas para a sua execução (RODRIGUES, 2006). Para lidar com essa complexidade, é importante que as empresas adotem uma abordagem integrada e sistêmica, com a participação de todos os envolvidos no processo, desde os gestores até os trabalhadores de campo. Porém, nem sempre as ferramentas tradicionais são de fácil entendimento por parte dos mais diversos intervenientes.

O *Building Information Modeling* (BIM) tem sido uma importante ferramenta no auxílio da compreensão dos diferentes projetos por parte das equipes de construção. Biotto (2012) indica a utilização dos modelos BIM 4D para simulação das diferentes estratégias de produção, sendo seu ponto forte o auxílio 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. A quarta dimensão do BIM, o 4D, busca integrar a programação de atividades ao modelo 3D, permitindo a criação de uma representação visual da sequência de atividades da obra ao longo do tempo. Com isso, essa tecnologia torna-se uma ferramenta com grande potencial de uso para avaliação das mais diversas situações e cenários que envolvem o processo produtivo da construção civil (ALVES; TOMMELEIN, 2007).

Este trabalho propõe a integração da simulação 4D às etapas de um Projeto de Sistema de Produção para um empreendimento de alto padrão em Porto Alegre - RS. O objetivo é avaliar a utilização da tecnologia como meio de análise de diferentes cenários e colaboração entre os intervenientes do processo de construção. A ideia é utilizar a simulação 4D como ferramenta para a gestão de projetos de construção, permitindo uma melhor gestão do tempo e dos recursos, redução de custos, aumento da eficiência e qualidade na execução da obra.

1.2 ESCOPO DO TRABALHO

Os pontos que definem o escopo do trabalho estão descritos nos itens a seguir e refere-se às delimitações e limites do projeto, estabelecendo o que foi contemplado e o que não foi abordado no desenvolvimento do trabalho.

1.2.1 Problema de Pesquisa

A construção civil é uma área que apresenta uma grande quantidade de variáveis e incertezas inerentes ao processo de produção que podem afetar significativamente a qualidade, prazo e custo dos empreendimentos. Soma-se a isso uma visão tradicional do processo de planejamento que é caracterizada pela inflexibilidade e reatividade, o que limita a capacidade das equipes de produção de se adaptarem a diferentes situações. Quando tratamos, ainda, de empreendimentos residenciais de alto padrão, esses apresentam um maior grau de complexidade e incerteza do que empreendimentos de padrão inferior, como os de interesse social, o que torna a gestão do projeto ainda mais desafiadora. Por isso, muitas empresas de construção estão adotando novas abordagens de planejamento, como o *Building Information Modeling* (BIM) e a abordagem *Lean Construction*, que buscam integrar as equipes de construção e otimizar o processo de construção de forma mais eficiente e efetiva.

Ao invés de se concentrar em uma abordagem reativa, o *Lean Construction* utiliza o planejamento de longo prazo como uma maneira de ter-se uma visão macro das etapas da construção e identificar oportunidades de melhoria em cada fase do projeto. Isso permite que as equipes de construção sejam mais ágeis e se adaptem às mudanças no processo de construção, o que pode levar a projetos mais eficientes, com menor tempo de execução e custos reduzidos. Dentro dessa abordagem, o Projeto de Sistema de Produção (PSP) é um dos principais conceitos para maximizar a eficiência do processo de planejamento de longo prazo. O PSP envolve a análise detalhada de todas as etapas do processo de construção, desde a concepção até a conclusão, com o objetivo de identificar as fontes de desperdícios e ineficiências.

Com o desenvolvimento da tecnologia BIM, diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos no âmbito da aplicação da modelagem 4D como ferramenta para auxiliar no entendimento do comportamento do fluxo de produção ao longo do tempo de construção. O BIM 4D permite a simulação da construção em tempo real, possibilitando a identificação de potenciais conflitos entre diferentes atividades, ajustar as equipes de trabalho e gerenciar as entregas dos fornecedores.

No entanto, muitas empresas ainda não utilizam essa tecnologia, o que pode gerar incertezas e impactar negativamente o produto final. Sendo assim, o presente trabalho se trata de um estudo de caso em uma obra de uma incorporadora sediada em Porto Alegre – RS que busca avaliar o uso da modelagem 4D dentro do processo de planejamento dessa empresa, a fim de identificar como a utilização dessa ferramenta pode qualificar o plano de longo prazo e o tornar mais eficiente.

1.2.2 Questão de Estudo

A questão a ser respondida com o desenvolvimento desse trabalho é: “Como implementar o PSP com BIM em um empreendimento de construção residencial?”

1.2.3 Objetivos do Estudo

1.2.3.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo principal propor o Projeto de Sistema de Produção, utilizando o BIM 4D, para o planejamento de uma obra residencial de alto padrão com baixo grau de repetitividade.

1.2.3.1 Objetivo Secundário

Como objetivos secundários, busca-se contribuir para os potenciais do uso do PSP em sistemas com alta variabilidade, como os empreendimentos de alto padrão, a identificação de pontos de melhoria nos processos de planejamento da empresa estudada sob o método do Projeto de Sistema de Produção e a sugestão de soluções que busquem otimizar o sistema produtivo da empresa e da obra estudada.

1.2.4 Premissa

O estudo elaborado tem por premissa que a utilização da metodologia de elaboração do Projeto de Sistema de Produção com o uso da tecnologia de modelagem 4D traz informações importantes ao planejamento de longo prazo, de forma a auxiliar nas definições da etapa, a partir da simulação e visualização de diferentes cenários que não são observados pelo método tradicional de planejamento.

1.2.5 Limitações

O trabalho tem por limitações o fato de se basear em um estudo de uma única obra, que possui suas particularidades quanto à terreno, localização e diretrizes para construção da cidade em estudo. As tecnologias utilizadas, apesar de terem um grau de padronização dentro da empresa estudada, podem se alterar quando se trata de outros empreendimentos, outras companhias e outras localizações. Ademais não existiam dados consolidados quanto à capacidade produtiva das equipes, mesmo com o vasto portfólio da empresa estudada.

Outra limitação importante é quanto a etapa de obra no início do desenvolvimento deste trabalho. A edificação já se encontrava em construção e o plano de ataque do empreendimento já havia sido elaborado, o que limitou a elaboração de alguns cenários ao que já estava sendo executado. Além disso, não foram tratados aspectos quanto à dispositivos de segurança do

trabalho, como EPCs, devido à falta de elementos 3D disponíveis gratuitamente e o baixo conhecimento do autor para modelagem 3D.

Por fim, os *softwares* utilizados também foram limitações para a modelagem 4D. O autor teve acesso apenas aos programas utilizados pela empresa e isso, por mais que se enquadre dentro da realidade atual da companhia, limitou a análise do PSP com uso do BIM 4D às ferramentas já utilizadas pelas equipes.

1.2.6 Estrutura do trabalho

O presente trabalho contém 7 capítulos. O capítulo 1, a introdução, apresenta o tema do trabalho, sua relevância e os principais aspectos abordados, incluindo uma visão geral e a definição do escopo do projeto. Ele também descreve o problema estudado, a questão a ser respondida, os objetivos, premissas e limitações do projeto.

Os próximos dois capítulos contêm a revisão bibliográfica acerca do tema estudado. O capítulo 2 trata de como os conceitos de sistemas de produção e *Lean Construction* se relacionam e apresenta o conceito de Projeto de Sistema de Produção (PSP) e modelos de elaboração deste que serão utilizados durante o desenvolvimento do trabalho. Já o terceiro capítulo versa sobre os conceitos de BIM e BIM 4D, além de apresentar modelos de integração do PSP com as simulações de 4ª dimensão BIM.

O quarto capítulo explica o método de pesquisa utilizado, descrevendo a estratégia e o delineamento adotados, além de apresentar as características do estudo e detalhar as atividades realizadas durante o desenvolvimento. O capítulo 5 apresenta os resultados do desenvolvimento do trabalho, partindo da descrição do sistema de planejamento até à aplicação das etapas de elaboração do PSP com o uso da tecnologia 4D.

O capítulo seis aborda a discussão e análise dos resultados alcançados durante o desenvolvimento do trabalho. Finalmente, o sétimo capítulo traz as considerações finais do trabalho realizado e os objetivos atingidos, além de propor temas para trabalhos futuros.

2 SISTEMA PRODUTIVO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Esse capítulo trata de como os conceitos de sistemas de produção e *Lean Construction* se relacionam e apresenta o conceito de Projeto de Sistema de Produção (PSP) e modelos de elaboração deste que serão utilizados durante o desenvolvimento do trabalho.

2.1 SISTEMA DE PRODUÇÃO NA ABORDAGEM ENXUTA

De acordo com Antunes *et al.* (2008), a definição da palavra “sistema” está vinculada a uma atividade complexa que envolve elementos físicos, químicos e biológicos e que pode ser mensurada. Quando tratamos de sistemas produtivos, essa atividade complexa envolve ações no sentido de operacionalizar o planejamento e o controle do fluxo global de produção (ANTUNES *et al.*, 2008). Segundo Antunes *et al.* (2008), as origens teóricas dos princípios básicos dos sistemas de produção encontram-se nas obras de Shigeo Shingo e Taiichi Ohno, onde se discorria sobre a construção do Sistema Toyota de Produção (STP), base para filosofia enxuta que será abordada na sequência.

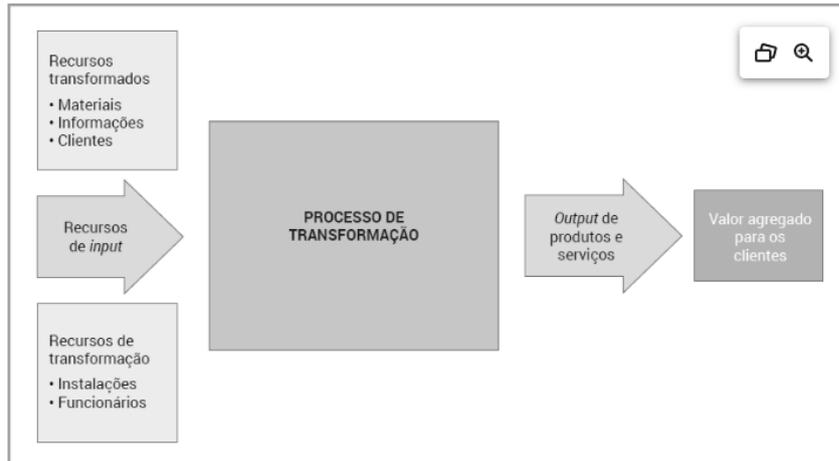
Antunes *et al.* (2008) também indica que os componentes de um sistema se interrelacionam de forma a buscar o atingimento de um objetivo em específico, em um processo organizado de transformação que converte insumos em resultado. O mesmo autor propõe três etapas essenciais para a análise, compreensão e construção dos sistemas produtivos, sendo essas:

- a) Interpretação dos sistemas produtivos a partir de uma base analítica conceitual de construção destes sistemas;
- b) Construção dos sistemas produtivos levando em conta as condições socioeconômicas de contorno nas quais estão inseridas as organizações em análise;
- c) A criação e/ou utilização de técnicas convencionais, que servirão para promover as melhorias concretas necessárias para a construção dos sistemas produtivos.

Para Slack (2013), a função produção é fundamental em qualquer organização, pois é a responsável pela criação e entrega daquilo que é a razão de sua existência, produtos e serviços com base na solicitação do cliente. O mesmo autor descreve as funções operação e processo se relacionando de forma que todas as operações transformam entradas (inputs) em saídas (outputs). O mesmo autor, em seu modelo de entrada-transformação-saída (Figura 1), propõe que os insumos podem ser tanto materiais, informações e clientes – e esses serão transformados

por operações e processos dentro do sistema produtivo – quanto pessoas e instalações, que são os responsáveis pela capacidade de transformar dentro da operação ou processo aos quais estão envolvidos.

Figura 1 - Modelo de entrada-transformação-saída de Slack



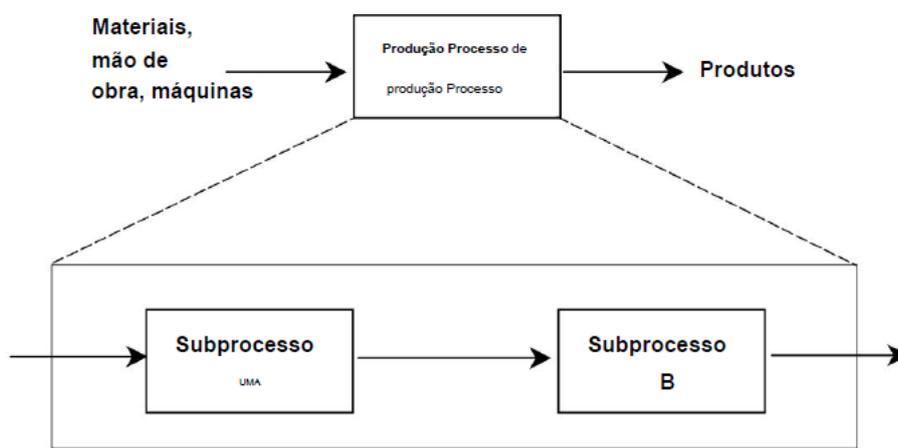
(fonte: Slack, 2013)

O objeto final da função produção (output) pode ser tanto produtos quanto serviços, sendo esses diferentes um do outro (SLACK, 2013). Mesmo que os processos de produção sejam semelhantes na maneira que transformam seus insumos, Slack (2013) propõe 4 aspectos particularmente importantes que tem impacto no custo da criação de produtos e serviços: (a) O volume de produção; (b) A variedade de produtos; (c) A variação na demanda e (d) A visibilidade que os clientes possuem da produção dos produtos ou serviços.

Koskela (2000) chama atenção que nesse modelo o processo de transformação e seu conteúdo tecnológico é abstraído, tratando apenas das entradas e saídas dos sistemas. Desta forma, o modelo está diretamente associado à noção de produtividade, explicitando a relação insumos e produto. Entretanto, Slack *et al.* (1995), citado por Koskela (2000), descreve alguns princípios comuns utilizados em conjunto ao conceito de processo de transformação. Para esses autores, as operações que compõe o sistema produtivo podem ser subdivididas em diferentes níveis hierárquicos, como versões menores da macro operação, de forma que os princípios gerenciais nesses diferentes níveis se assemelhem, simplificado a execução da gestão (SLACK *et al.*, 1995; KOSKELA, 2000). Essa simplificação ocorre, também, quando tratamos dos custos envolvidos em cada processo, de forma que minimizando-se o custo de um subprocesso diminui-se, conseqüentemente, o custo do processo como um todo (KOSKELA, 2000). Koskela

(2000) ainda acrescenta a noção de que o valor de saída do processo está vinculado ao valor das entradas, ou seja, quanto maior o valor dos *inputs*, maior o valor dos *outputs*. Outro aspecto importante dentro do processo de transformação são as folgas de estoque (pulmões ou *buffers*), geradas durante a produção; elas “isolam” os processos, ou subprocessos, de forma que possam se tornar independentes uns dos outros (Figura 2), sendo importantes para proteger o processo de Transformação das condições de incerteza do ambiente (SLACK *et al.*, 2013).

Figura 2 - Esquema de subdivisão dos processos



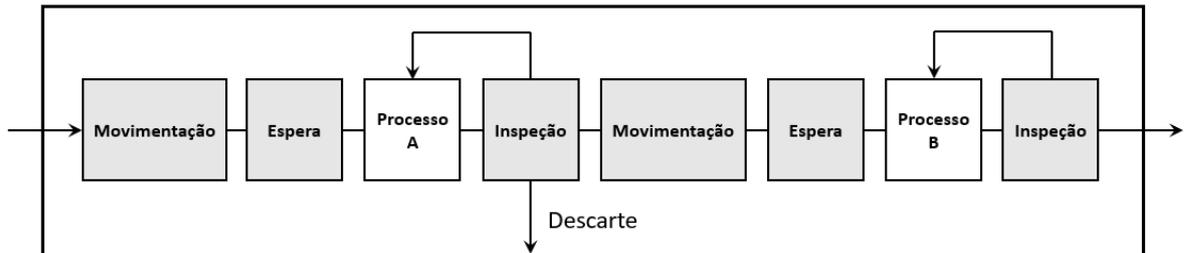
(fonte: Koskela, 2000)

Contudo, o conceito de transformação não basta para definir-se sistema de produção (KOSKELA, 1992). Para Shingo (1996), a base para o entendimento de um sistema de produção é a diferenciação conceitual entre operação e processo; e essa afirmativa traz à tona a noção de fluxo de produção, que até a década de 80 era negligenciada pelo modelo do processo de transformação (KOSKELA, 2000). Processo pode ser entendido como o fluxo de modificação dos materiais no espaço e tempo para a formação do produto (Shingo, 1996). Já a operação diz respeito ao fluxo do sujeito do trabalho, sendo esse os trabalhadores ou os maquinários (Antunes *et al.*, 2008).

O sistema de produção - ou mecanismo da função produção, como descreve Antunes *et al.* (2008) – é, portanto, uma rede onde se relacionam os sujeitos e os objetos da produção, e a função processo representa o fluxo integrado de materiais do início da final da produção (ANTUNES *et al.*, 2008); e é a análise dela que permite atingir-se as principais metas, ocupando a função operação um papel suplementar (SHINGO, 1996). Sendo assim, conclui-se que

processos e operações não são fenômenos que se sobrepõe, e a melhoria das operações não garante a melhoria da produção como um todo (SHINGO, 1996; KOKELA, 2000; ANTUNES *et al.*, 2008). De forma sucinta, na visão de fluxo (Figura 3), para melhorar-se a produção deve-se eliminar o desperdício dos processos de fluxo (KOSKELA, 2000).

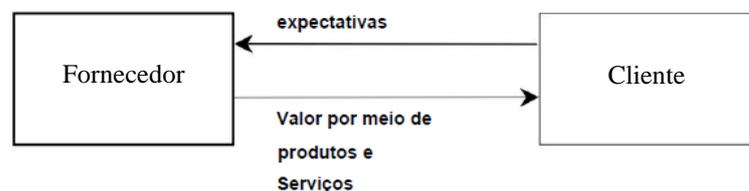
Figura 3 - Representação da função produção como processo de fluxo.



(fonte: traduzido de Koskela, 2000)

Koskela (2000) ainda acrescenta mais uma visão complementar à de transformação e fluxo. Para o autor, é necessário absorver as expectativas dos clientes de forma que se tenha geração de valor na produção de produtos e serviços (Figura 4). Nesse modelo, são fundamentais os projetos de produto e produção, além da entrega do pedido, e esses aspectos devem atender às necessidades e demandas dos clientes (KOSKELA, 2000). O modelo de geração de valor tem como foco o controle dos processos de transformação e fluxo para o bem do cliente, não se concentrando em aspectos da produção física (KOSKELA, 2000).

Figura 4 - Esquema da relação das expectativas dos clientes com a agregação de valor.



(fonte: traduzido de Koskela 2000)

Assim, as três visões devem coexistir dentro do sistema de produção. Os três conceitos (transformação-fluxos-valor) são complementares, e devem complementar-se para o desenvolvimento da modelagem, projeto, controle e melhoria da produção (KOSKELA, 2000).

Desta forma, partindo do conceito de produção TFV, Koskela (2003) indica quatro aspectos gerais a serem atingidos pelo sistema de produção: a) entregar o produto; b) minimizar o desperdício; c) maximizar o valor; d) reduzir a variabilidade - esse item diretamente vinculado aos itens b) e c).

2.2 A CONSTRUÇÃO SOB A VISÃO ENXUTA

Na primeira metade do século XX, e significativamente na segunda metade, a produção artesanal prevaleceu no setor da construção civil, não acompanhando a tendência de aumento na produtividade que ocorreu nas demais indústrias no século 20 (KOSKELA, 2000). Para Koskela (2000), esse fator histórico auxiliou para que os conceitos de transformação, fluxo e valor não fossem desenvolvidos de forma equilibrada no último século, como deveriam ser, formando-se uma visão convencional orientada para as atividades de transformação dentro da construção. Essa visão possui três aspectos principais que explicitam o olhar sobre esse pilar e que alcançaram pouco impacto quanto ao desempenho: separação de projeto e construção, aquisição por meio de licitação e papéis institucionalizados e divisão de trabalho.

Além disso, a construção civil engloba atividades com diferentes níveis de complexidade e materiais fabricados com processos tecnológicos significativamente distintos uns dos outros (MELLO; DE AMORIM, 2009). De acordo com Mello e de Amorim (2009), o sintoma central da construção é sua baixa produtividade, que pode ser justificada pelos seguintes aspectos: a) Baixa qualificação e desatualização da mão de obra; b) Falta de padronização e não conformidade dos materiais; c) Quadro regulatório burocrático e deficiente; d) Pouca utilização da Tecnologia de Informação; e) Pouca utilização de equipamentos que permitam alta produtividade e; f) Alta incidência de tributos e encargos.

Ademais, existem diversas tipologias de construção, cada uma com seu nível de complexidade, tempo e certeza (BALLARD; HOWELL, 1998). Para Ballard e Howell (1998), o sistema produtivo da construção civil pode ser particularizado a partir da soma de duas características: a) pertencer à categoria de fabricação em posição fixa e (b) estão “enraizados” no lugar. Esses aspectos geram incerteza e diferenciação, tendo em vista que o local onde se desenvolve a produção infere em mudanças na construção em decorrência de aspectos como morfologia do terreno, tipologia de solo, regulamentação local, valorização da região, entre outros (BALLARD; HOWELL, 1998).

Para Koskela (2000) e Ballard (2011), a construção é um sistema de produção fixo no local, com produto único e equipes temporárias, e a gestão dessas peculiaridades ao projetar, operar e melhorar o sistema de produção é fundamental dentro do sistema produtivo. A partir desse pensamento, Ballard (2011) sugere duas partes para implantação dos conceitos enxutos à indústria da construção:

- a) Demandar da construção o que realmente pertence ao processo de fabricação de produtos contemporâneos e minimizar as peculiaridades para aproveitar as técnicas enxutas desenvolvidas na manufatura;
- b) Desenvolver técnicas enxutas adequadas à construção dinâmica;

Dentre essas duas diretrizes, existe uma dificuldade maior em aplicar-se a segunda, pois ela propõe tornar enxuto um tipo de produção que evidentemente não é manufatura (Ballard, 2011). A construção dinâmica requer a padronização, também, para produtos não normalizados, com o desenvolvimento de procedimentos que regem o planejamento e controle (BALLARD, 2011).

Para Koskela (1992), a base da filosofia da Construção Enxuta está na observação de que existem dois tipos de fenômenos em todos os sistemas de produção: conversões e fluxos, e esses devem atender às necessidades dos clientes. A análise do sistema produtivo deve, sempre, considerar esses três aspectos, de forma equilibrada. Nos processos de fluxo estão contidas as atividades de conversão, inspeção, espera e movimentação, sendo essas essencialmente diferentes (KOSKELA, 1992). Koskela (2003) ainda lista as seguintes peculiaridades da construção civil que impactam no processo de fluxo de materiais:

- a) Existem três fluxos de materiais (material, localização e montagem) na zona de trabalho, enquanto em uma fábrica de manufatura existem dois (material e montagem);
- b) Existe um alto grau de variabilidade inerente ao processo construtivo, associado a esses fluxos;
- c) O processo produtivo é do tipo montagem, que é vulnerável ao fluxo de entrada;
- d) A construção é, por essência, a produção de protótipos, o que geralmente é realizado para identificação e corrigir de erros em projetos ou planos de produção;
- e) Diferentemente de uma fábrica de manufatura, uma peça pode estar em mais de um posto de trabalho, levando a um trabalho em condições sub ótimas – esse é um tipo de consequência da produção.

Para Koskela (2003), as consequências das peculiaridades da construção civil, muitas vezes, não podem ser eliminadas, pois o nível de variabilidade é alto e a situação da produção é vulnerável a variabilidade. Com isso, deve-se acentuar as atenções da gestão tanto nas operações quanto nas melhorias, de forma que a propagação e as penalidades da variabilidade sejam reduzidas (KOSKELA, 2003). Entretanto, de acordo com Koskela (2003), as práticas de gestão aplicadas nas empresas de construção civil têm se concentrado na entrega do produto, e a maximização do valor, minimização do desperdício e redução da variabilidade têm sido tratadas de maneira informal e assistemática.

2.3 PROJETO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO

De acordo com Koskela (2003), existem três ações genéricas para gestão da produção: projeto, operação e melhoria do sistema de produção; sendo o projeto de Sistema de Produção (PSP) a primeira atividade a ser desenvolvida em qualquer sistema produtivo. Essa tarefa tem o objetivo de definir o que se deve fazer para o atingimento das metas estabelecidas, seguindo os princípios de transformação, fluxo e geração de valor, e atende aos três objetivos dos sistemas de produção: fazer o trabalho, maximizar o valor e minimizar o desperdício (BALLARD *et al.*, 2001; KOSKELA, 2003).

O projeto do sistema de produção se estende da organização global ao projeto das operações; por exemplo, desde decisões sobre quem deve estar envolvido em quais funções até decisões sobre como o trabalho físico será realizado (BALLARD *et al.*, 2001). Para Barth *et al.* (2020), pode ser considerado como uma tarefa inicial de planejamento industrial que envolve um conjunto de decisões que desempenham um papel importante na implementação dos principais conceitos Lean, como produção puxada, tamanho do lote e *takt time*; e pode potencialmente trazer benefícios substanciais para a gestão da produção e aumentar a possibilidade de atingir as metas estabelecidas.

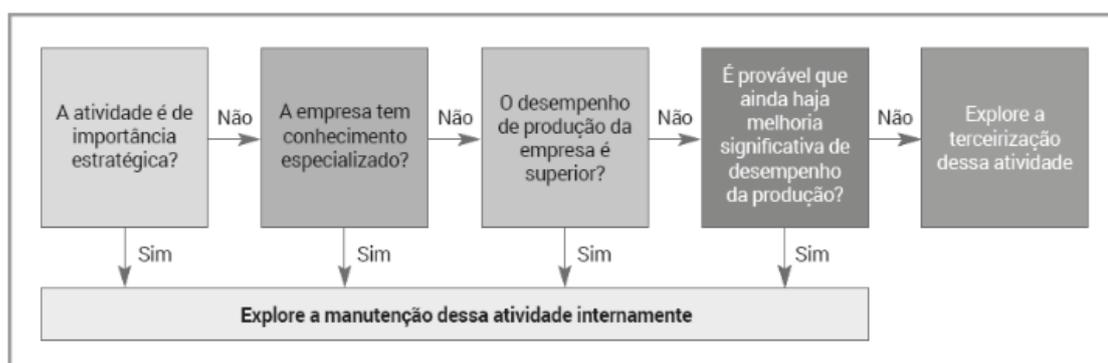
Portanto, o PSP é uma etapa de gerencial a ser realizada antes das atividades produtivas para que essas tenham um melhor resultado (BARTH *et al.*, 2020). A seguir são apresentadas as decisões fundamentais a serem tomadas durante a construção do PSP, estabelecidas por Schramm (2004).

2.3.1 Nível de Integração Vertical

Integração vertical é o local, ou locais, que determinada empresa ou organização, e suas operações, se encontrarão em uma rede de suprimentos, ou seja, a definição de quais parcelas da rede serão de sua responsabilidade ou dos fornecedores (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Desta forma, entende-se como integração total quando a empresa possui absoluto controle sobre sua rede de produção, não necessitando, assim, de fornecedores. Segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), a maneira que uma organização se comportará dentro de sua rede de suprimentos, ou seja, sua estratégia de integração vertical pode ser definida a partir dos seguintes aspectos: (a) a direção da integração (*upstream* ou *downstream*), (b) amplitude ou nível de processos da integração (c) o equilíbrio entre os estágios verticalmente integrados.

A decisão de integrar, ou não, verticalmente, ou, ainda, terceirizar seus processos, depende das vantagens e desvantagens que essa ação gerará em um sistema de produção (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Conforme Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), essa definição tem por base a importância estratégica do processo na rede, a existência de conhecimento especializado, o nível de desempenho interno e a possibilidade interna de melhoria significativa do desempenho (Figura 5).

Figura 5 - Diagrama representativo da sequência lógica da decisão de terceirizar.



(fonte: SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018)

Sendo assim, Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) elencam como vantagens da integração vertical: (a) confiabilidade de acesso aos suprimentos e ao mercado, (b) pode reduzir custos em relação ao fornecedor, (c) Pode ajudar a melhorar a qualidade do produto ou serviço, (d) auxiliar na compreensão de outros elementos da rede de suprimentos. Já como desvantagens, os mesmos

autores indicam: (a) monopólio interno em detrimento da melhoria, (b) impossibilidade de exploração da economia de escala, (c) perda de flexibilidade, (d) tendência em adiar a inovação, (e) perda de foco.

2.3.2 Capacidade de Produção

Capacidade é o quanto uma operação consegue atender à demanda dos clientes e o gerenciamento da capacidade produtiva é o que rege a compensação entre demanda dos clientes e custo, sendo que sua falta gera prejuízo no atendimento ao cliente e seu excesso o aumento de custos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013). Para Slack, Chambers e Johnston (2013) a gestão da capacidade de produção é um processo dinâmico, que exige decisões para longo, médio e curto prazo. Os mesmos autores indicam que é a capacidade que limita o fluxo pela rede de produção ou causa a subutilização dos recursos, reduzindo a eficácia do sistema produtivo.

Antunes (2011) descreve dois tipos de recurso que restringem o desempenho econômico-financeiro da empresa: os gargalos e o recurso com capacidade restrita (RCR, ou CCR – *capacity constraints resources*). O primeiro é de cunho estrutural e representa, a longo prazo, os recursos cuja capacidade disponível é menor do que a demandada (ANTUNES, 2011). Para Antunes (2011), a melhoria no desempenho dos gargalos passa por decisões tanto de aumento de capacidade, quanto de diminuição de demanda. Já os recursos com capacidade restrita, de regra, possuem capacidade suficiente para atender à demanda, mas são vulneráveis às variabilidades e flutuações de demanda. A eliminação sistemática dessas vulnerabilidades, para Antunes (2011), passa pela adoção de ações como: (a) padronização de preparações, (b) melhorias e padronização das ações de manutenção; (c) sincronização da produção; (d) aumento na confiabilidade no fornecimento de suprimentos; (e) nivelamento de capacidade e demanda.

No caso dos recursos gargalos, a estratégia de aumento em ativos fixos é justificável tendo em vista que seu cunho estrutural pode representar a necessidade da compra de máquinas e equipamentos, por exemplo. Entretanto, quando falamos de recursos com capacidade restrita, a mesma lógica não se aplica. A influência desse tipo de recurso depende das circunstâncias do sistema e essas podem variar com o passar do tempo, ou seja, a ideia essencial é gerir os recursos já existentes de forma mais eficiente (ANTUNES, 2011). Seguindo essa lógica, Antunes (2011)

descreve que o primeiro passo para o aumento de desempenho a partir da manufatura sincronizada é a sincronização dos fluxos em detrimento do balanceamento das capacidades.

2.3.3 Arranjo Físico (Layout) e Fluxos Produtivos

Para Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), o arranjo físico (ou layout) é a posição física das pessoas e instalações dentro de uma unidade produtiva. O layout controla a segurança, a flexibilidade, e eficiência de uma operação. Segundo os mesmos autores, os objetivos a serem alcançados com o arranjo físico projetado dependem das metas estratégicas da produção, porém pode-se citar os seguintes objetivos gerais: (a) segurança contra riscos acidentais, (b) segurança contra riscos intencionais, (c) extensão do fluxo – minimizar ou maximizar, (d) minimizar atrasos, (e) reduzir o trabalho em progresso, (f) boas condições de trabalho, (g) comunicação, (h) coordenação da administração, (i) acessibilidade, (j) uso apropriado do espaço, (k) economia de custo, (l) flexibilidade a longo prazo e (m) imagem.

Para Corrêa e Corrêa (2017), as decisões de arranjo físico devem ser orientadas para estratégia competitiva da operação. O layout é capaz de afetar os níveis de eficiência e eficácia da produção e deve visar eliminar atividades que não agregam valor e maximizar as que agreguem (CORRÊA; CORRÊA, 2017). Quanto às suas classificações, os arranjos físicos (layouts) podem ser divididos em 4 grupos (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018; CORRÊA; CORRÊA, 2017):

- a) De produção fixa, ou posicional – o produto é fixo e o que flui pela operação são os materiais, pessoas e equipamentos;
- b) Funcional – Recursos e processos semelhantes são agrupados;
- c) Celular – layout dividido em células especializadas;
- d) Em linha – Entradas do sistema seguem roteiro predefinido até a finalização do produto.

Muitas vezes, a definição de um único tipo de arranjo físico não reflete às necessidades das operações como um todo. Nesses casos, a adoção de um layout híbrido, ou misto, pode ser a melhor solução (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON; 2018). Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) comentam, ainda, que a importância do fluxo, e conseqüentemente do projeto do arranjo físico, dependerá das características de volume, variedade e custo da operação. Para Corrêa e Corrêa (2017), dadas as implicações que as decisões de layout têm no sistema produtivo, essas devem ser reavaliadas sempre que ocorrerem mudanças referentes à

localização de máquinas e equipamentos, procedimentos e fluxos de materiais, mix de produtos e estratégia competitiva. Slack, Brandon-Jones e Johnstone (2018) comentam, ainda, que um arranjo físico equivocado pode estender ou complicar os padrões de fluxo, provocar filas, aumentar o tempo de processamento, criar fluxos imprevisíveis, altos custos e baixa eficiência.

2.3.4 Sincronização da Produção

Para Slack, Chambers e Johnston (2013), a sincronização da produção representa um fluxo rápido e suave entre as etapas do sistema produtivo. Isso quer dizer, segundo os mesmos autores que, nesse fluxo, se entrega de forma precisa o que foi demandado, na quantidade correta, atendendo ao prazo estabelecido e no local previsto. Em um fluxo não sincronizado, gera-se estoque a fim de garantir o isolamento entre as etapas produtivas, e esse estoque deve ser compensado reduzindo-se o tempo de processamento (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013).

Esse isolamento, garantido pela formação de estoque, não permite que as demais etapas do processo produtivo sejam imediatamente afetadas por problemas da etapa anterior, e suas consequências não terão seguimento instantâneo dentro da cadeia produtiva (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013). Entretanto, segundo Slack, Chambers e Johnston (2013), o tratamento do problema localizado faz com que se crie um sistema protegido onde a resolução do problema não deve ser tratada imediatamente. Para esses autores, a sincronização permite a observação rápida do problema e a motivação para que ele seja resolvido, tendo em vista que impacta diretamente nas atividades sucessoras.

No cenário da construção civil, algumas peculiaridades impactam significativamente na tentativa de garantir a sincronia entre os diferentes processos. Características como a singularidade dos produtos, a dependência de fatores externos, as relações de interdependência entre os processos e transferências de lotes entre diferentes equipes de trabalho (KOSKELA, 1992; KOSKELA; BALLARD, 1998; BALLARD; HOWELL, 1998; SACKS, 2016) fazem com que a sincronia das atividades seja um grande desafio durante o desenvolvimento de novos empreendimentos. Koskela (1992) propõe soluções para essas peculiaridades conforme elencado no Quadro 1:

Quadro 1 - Visão geral sobre problemas relacionados às peculiaridades da construção e soluções correspondentes.

Peculiaridade	Problemas de controle	Problemas de melhoria	Soluções estruturais	Soluções operacionais para controle	Soluções operacionais para melhorias
Produtos únicos	Sem ciclos de protótipo; Entrada não sistemática do cliente; Coordenação de atividades incertas.	Processos únicos não se repetem, portanto, a melhoria a longo prazo é questionável.	Minimize o conteúdo único do projeto.	Análise inicial de requisitos; Configuração de ciclos artificiais. <i>Buffers</i> para tarefas incertas.	Aumentar a flexibilidade de produtos e serviços para cobrir uma ampla Acumular informações de feedback de projetos anteriores.
Produção no local	Incertezas externas: clima, etc. ; Incertezas e complexidades internas: interdependência de fluxos, mudanças de layout, variabilidade da produção por trabalho	Dificuldade de transferir melhorias entre canteiros apenas em procedimentos e habilidades.	Minimizar as atividades no local em qualquer fluxo de material.	Use invólucros etc. para eliminar a incerteza externa; Planejamento detalhado e contínuo; Equipes de trabalho multiquelificadas	Melhore a capacidade de planejamento e análise de risco; Procedimentos de trabalho sistematizados.
Organização temporária	Incertezas internas: troca de informações através das fronteiras da organização (desconexões de fluxo)	Dificuldade em estimular e acumular melhorias além das fronteiras da organização	Minimizar interfaces organizacionais temporárias (interdependências).	Formação da equipe durante o projeto	Integrar fluxos por meio de parcerias
Intervenção regulatória	Incerteza externa: atraso na aprovação			Compressão do ciclo de aprovação Autoinspeção	

(fonte: traduzido de Koskela 1992)

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2013), a primeira etapa para garantir o fluxo sincronizado de produção é a identificação e redução das perdas, e essas podem ser descritas como: (a) tempos de espera, (b) tempo de transporte, (c) ineficiência dos processos, (d) estoque e (e) perdas por movimentação. Os mesmos autores descrevem que a dessincronização pode acontecer a partir da subprodução ou superprodução, das entregas antecipadas ou atrasadas e da criação de estoque. Além disso, a baixa flexibilidade às alterações de demanda e a variabilidade nos níveis da qualidade são outros aspectos que impactam na sincronia dos

processos produtivos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013). O ajuste de layout, já comentado em tópico anterior, é uma importante ferramenta para sincronização, tendo em vista que pode minimizar o tempo de transporte, o acúmulo de estoque, melhorar a visibilidade dos processos e reduzir os tempos de preparação (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2013).

É fundamental dentro da filosofia enxuta que a identificação e resolução dos problemas pertençam a um ciclo de melhoria contínua. Desta forma, os problemas de hoje são solucionados para as próximas operações de forma a garantir maior grau de sincronização, ou seja, redução das parcelas que não agregam valor. Para Antunes (2011), a sincronização da produção está intimamente ligada à melhoria contínua, na busca de um ritmo produtivo comum e, idealmente, ininterrupto. Segundo esse autor, as manufaturas reais são estruturalmente desbalanceadas, e, por isso, existe a necessidade de concentrar esforços na sincronização do fluxo dos objetos de trabalho. Esse é o primeiro de 7 princípios para a manufatura sincronizada que esse autor cita, elencados a seguir:

1º princípio: Focar na sincronização dos fluxos em detrimento do balanceamento das capacidades;

2º princípio: O valor marginal do tempo nos recursos gargalos é igual à taxa de ganho dos produtos processados pelos gargalos;

3º princípio: O valor marginal do tempo em um recurso não-gargalo é negligenciável.;

4º princípio: O nível de utilização de um recurso não-gargalo é controlado por outras restrições dentro do sistema;

5º princípio: Os recursos devem ser utilizados, não simplesmente ativados;

6º princípio: O lote de transferência não necessita ser, e muitas vezes não deve ser, igual ao lote de processo;

7º princípio: O lote em processo deve ser variável, tanto ao longo do roteiro de fabricação, como ao longo do tempo.

2.3.5 Projeto de Processos Críticos

De acordo com Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), uma operação não atingirá o melhor desempenho a menos que os processos vinculados a ela sejam bem projetados. Para esses autores, a primeira tarefa a ser realizada no projeto de processos é a definição dos objetivos a serem atingidos, pois são eles que guiarão as decisões seguintes. Sendo assim, a função do projeto de processos é buscar garantir o desempenho adequado do processo a partir do objetivo estabelecido (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

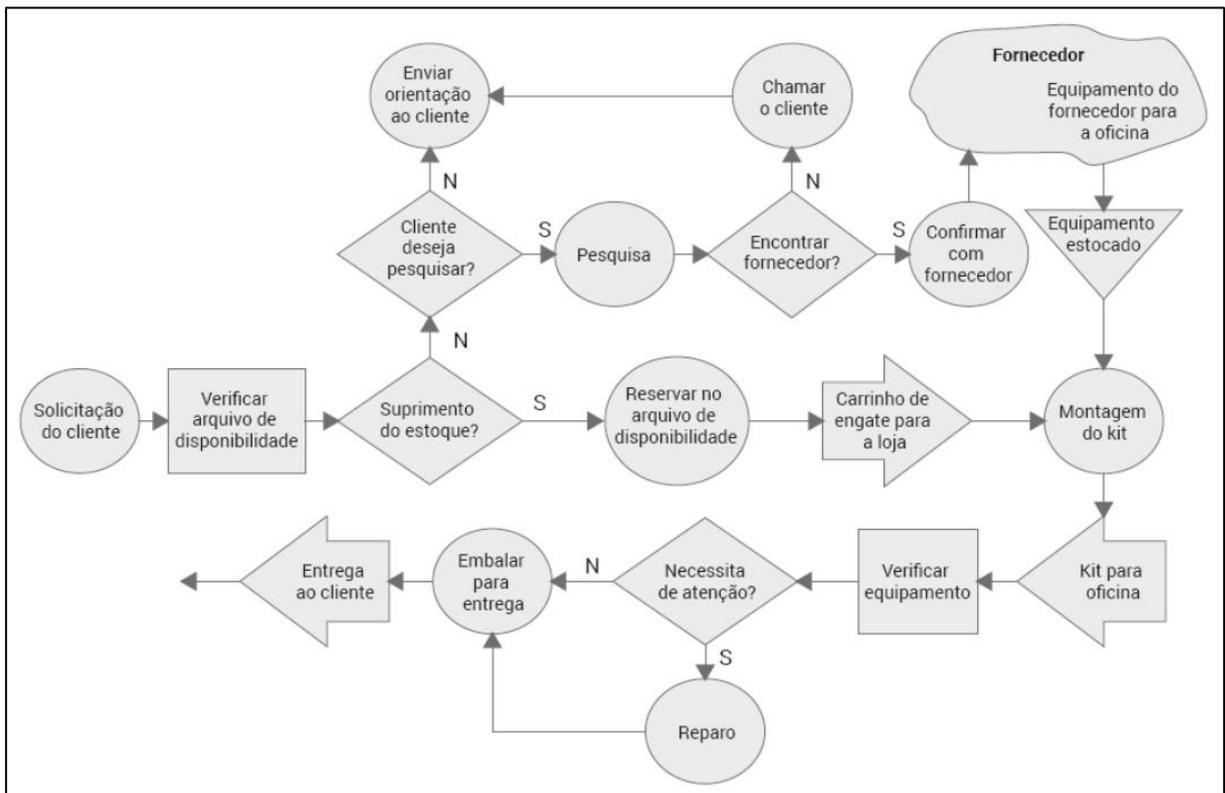
Esses objetivos, segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018), podem ter diferentes escalas e, em razão de os processos serem geridos a nível operacional, deve-se estabelecer objetivos menores e detalhados. Os mesmos autores indicam que esses objetivos menores estão extremamente relacionados com os fluxos dentro da planta, tendo em vista as oportunidades de minimização das esperas.

Outro aspecto importante do projeto de processos é a padronização. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) descrevem que permitir diferentes métodos de execução pode gerar confusão, desentendimentos e, conseqüentemente, ineficiência. Entretanto, não é possível padronizar todos os processos e é comum as organizações terem problemas ao definirem o que deve ser padronizado ou não (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Esses autores, ainda, relatam a importância da relação volume-variedade e como ela determina os seguintes tipos de processos:

- a) Processos de projeto: baixo volume, alta variedade e recursos transformadores específicos;
- b) Processos de *Jobbing*: baixo volume, alta variedade e recursos transformadores compartilhados;
- c) Processos em lote: volume e variedade se relacionam de forma inversa. Quanto maior um, menor o outro;
- d) Processos de produção em massa: alto volume e variedade baixa;
- e) Processos contínuos: alto volume e variedade muito baixa. Operam por longos períodos.

Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) citam três passos fundamentais para o projeto detalhado de um processo: identificar todas as atividades necessárias, definir a sequência de execução e quem executará. Para as duas primeiras etapas, pertencentes à atividade de "mapeamento de processo", esses autores indicam que as diversas ferramentas existentes devem identificar os tipos de atividade e os fluxos de materiais, pessoas e informações existentes. Para a representação gráfica do mapeamento são utilizados símbolos, cada um com um significado, a fim de representar o processo como um todo ou parte do processo, dependendo do nível de mapeamento (Figura 6). Além de mapear as atividades que envolvem o processo, também é necessário: (a) identificar tempo de atravessamento, tempo de ciclo e trabalho em progresso, (b) identificar e otimizar os gargalos, (c) organizar os estágios e (d) tratar as variabilidades do processo (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Figura 6 - Exemplo de representação gráfica do mapeamento de processos.



(fonte: Slack; Brandon-Jones; Johnston, 2018)

2.4 O PSP NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Esse item da revisão bibliográfica tem por finalidade apresentar os conceitos e modelos que irão nortear a elaboração do Projeto de Sistema de Produção (PSP) no trabalho.

2.4.1 Modelos para PSP na Construção Civil

2.4.1.1 PSP em Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social

Schramm (2004) propôs uma série de etapas para consolidação de um projeto de sistema de produção em empreendimentos habitacionais de interesse social (EHIS). Essa tipologia de empreendimento possui aspectos que a aproxima da indústria de manufatura, pois, entre outras características, percebe-se maior repetitividade e escala dos seus processos quando comparada à outras tipologias de empreendimentos habitacionais que prezam pela natureza única do produto (SCHRAM, 2004). O autor também chama a atenção para a necessidade de sobreposição entre o desenvolvimento do projeto de produto e do sistema de produção, tendo

em vista que a definição do produto impacta diretamente nos custos do projeto e no tempo entre a concepção até o lançamento do produto no mercado (SCHRAMM, 2006; SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Com base em estudos de caso realizados em 4 empresas de EHS, Schramm (2004) indicou seis etapas para elaboração do Projeto de Sistema de Produção para antecipação das decisões relacionadas ao sistema de produção, buscando-se reduzir níveis de incerteza e variabilidade. Essas etapas foram agrupadas de acordo com as respectivas unidades de análise, unidade-base ou empreendimento, e devem ser realizadas em acordo com a estratégia de produção da empresa:

- a) **Definição da sequência de execução e pré-dimensionamento da capacidade produtiva da unidade base:** A definição da sequência de execução da unidade-base e da capacidade produtiva têm como precedentes informações retiradas de outros empreendimentos semelhantes já executados, especificações de materiais e técnicas construtivas empregadas. Comumente, essas são decisões e informações que delimitam, ou seja, restringem o sistema produtivo ao que a empresa já possui de experiência. Porém, eles não são estáticos e podem ser alterados durante a execução do PSP ou das atividades de obra. Outros dois conceitos são desenvolvidos durante essa fase, o nível de integração vertical e seleção das tecnologias a serem empregadas. Como produto dessa etapa, é desenvolvida a planilha de pré-dimensionamento de capacidade e o diagrama de precedência das atividades da unidade-base.
- b) **Estudo dos fluxos de trabalho da unidade base:** Etapa na qual busca-se avaliar os fluxos de trabalho das operações que acontecem na unidade-base. Schramm (2004) indica a utilização da linha de balanço para visualização de interferências entre equipes e oportunidades de redução dos tempos de ciclo.
- c) **Definição da estratégia de produção do empreendimento:** Para definição da estratégia de produção, Schramm (2004) sugere que o empreendimento seja dividido em zonas de trabalho. Essas zonas podem trabalhar de forma sequencial ou em paralelo, e devem desenvolver, em uma situação ideal, atividades em fluxo contínuo seguindo o ritmo definido anteriormente. Deve-se avaliar mais de uma alternativa para a escolha da estratégia a ser seguida e, mesmo que apenas a mais adequada seja escolhida, as demais não devem ser descartadas, tendo em vista que podem ser úteis caso alguma revisão do plano seja necessária. Como produto dessa etapa, formaliza-se o plano de ataque do empreendimento, que é a representação gráfica da trajetória das equipes dentro e entre as zonas de trabalho.
- d) **Estudos dos fluxos de trabalho do empreendimento:** A partir da estratégia de produção e estudo dos fluxos de trabalho da unidade base, busca-se determinar o início de execução de cada zona considerando-se a sincronização da produção e o compartilhamento de recursos entre as diferentes zonas de trabalho. Pode-se utilizar, além da linha de balanço, o Diagrama de

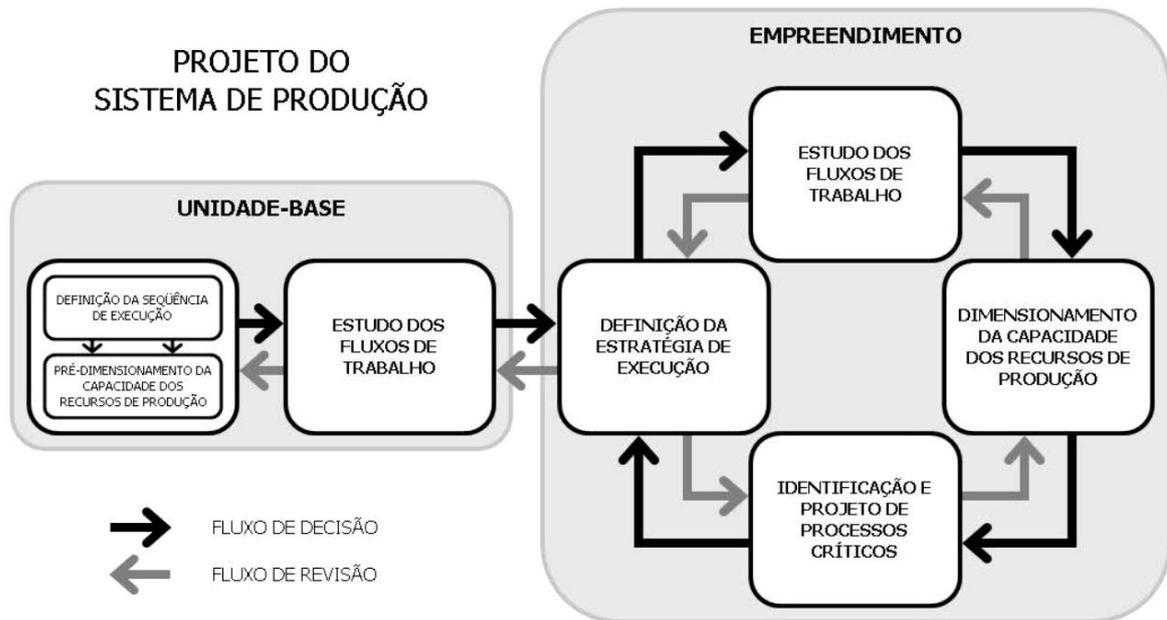
Sincronia para estudar-se a sincronização de processos específicos, geralmente os críticos (ou gargalos), visando o fluxo contínuo de trabalho.

e) **Dimensionamento da capacidade dos recursos de produção do empreendimento:** A partir do Diagrama de Sequenciamento é possível determinar o número de equipes necessárias para a execução de cada processo. Tendo esse dado em mãos, estabelece-se o volume de recursos necessários. Através de planilhas e histogramas de recursos são representadas as necessidades de mão de obra e equipamentos. Utilizando-se essas ferramentas para análise, pode-se entender a necessidade de nivelamento de recursos (balanceamento da capacidade) em decorrência da disponibilidade limitada desses.

f) **Identificação e projeto dos processos críticos:** Nessa etapa busca-se dar enfoque aos gargalos de produção. Busca-se minimizar o efeito negativo dessas atividades específicas em uma análise que compreende o estabelecimento das etapas de operação, sequência executiva e alocação de recursos. Deve-se avaliar de que forma a atividade em análise "puxa" as suas predecessoras e "empurra" as sucessoras. Como produto, pode-se elaborar as seguintes ferramentas: (a) estudo de layout e de capacidade de processo, (b) planilha de definição da sequência de execução do processo, (c) planilha de avaliação da capacidade *versus* demanda.

Segundo Schramm (2004), as decisões que contemplam o PSP devem ser tomadas de forma integrada, tendo em vista que elas têm impacto mútuo, em um fluxo de decisão-revisão. Essa abordagem permite, segundo Schramm (2004), o desencadeamento lógico das decisões como um todo e não em relação a um processo específico.

Figura 7 - etapas da elaboração do PSP.



(fonte: Schramm, 2004)

2.4.1.2 PSP em Empreendimentos Complexos

Rodrigues (2006) apresentou um modelo para elaboração de PSP para empreendimentos caracterizados por elevada complexidade. Esses empreendimentos, segundo a autora, se caracterizam por possuírem baixa repetitividade, prazos curtos de execução, grande quantidade de partes interdependentes e grande interferência dos clientes. Para esse tipo de construção, a abordagem tradicional de gestão, com o planejamento detalhado executado no início, não é eficaz (RODRIGUES, 2006).

Em seu estudo, Rodrigues (2006) constatou que as decisões estratégicas da empresa e os requisitos do cliente são fontes importantes de dados de entrada para elaboração do PSP. A autora dividiu em fases o projeto, cada fase com seu nível de complexidade. Nas fases iniciais, constatou-se que as decisões não poderiam ser muito detalhadas, tendo em vista o alto grau de incerteza envolvido nesse tipo de construção. Após a orçamentação e contratação, deve-se revisar o PSP detalhar as atividades iniciais, e assim seguem-se as revisões conforme a obra se desenvolve.

Rodrigues (2006) indica, ainda, a grande relevância da participação dos engenheiros, do mestre de obras, os gerentes e supervisores de produção e até mesmo dos clientes durante as revisões do PSP. Sendo assim, a autora incluiu a seguinte fase em um modelo baseado no de Schramm (2004):

g) **Captação das necessidades dos clientes:** etapa que deve ocorrer nas etapas de orçamentação, contratação e a fase inicial da construção do empreendimento. Seu objetivo é antecipar as decisões que podem alterar significativamente o projeto, de forma a reduzir as incertezas quando da execução das atividades. Deve-se buscar as seguintes informações: (a) requisitos de entrega – prazo final e forma de entrega (faseamento de obra); (b) requisitos de qualidade; (c) requisitos de segurança; (d) requisitos de espaço físico.

2.4.2 Location-Based Management (LBM)

Location-Based Management (LBM) é uma abordagem de gestão de projetos que tem sido cada vez mais adotada na construção civil. Essa abordagem se baseia em utilizar a localização física do trabalho como uma unidade de gestão e planejamento, ao invés de usar tarefas individuais ou etapas do projeto (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006). Na LBM, o projeto é dividido em zonas de trabalho com limites claros e bem definidos (KENLEY; SEPPÄNEN, 2006), e cada zona tem um cronograma independente. Segundo Kenley e Seppänen (2006), as atividades são então planejadas e agendadas com base nas restrições e condições de cada zona de trabalho, a fim de reduzir as incertezas que envolvem a produção da construção. Isso permite que as equipes de trabalho possam se concentrar nas tarefas em uma determinada zona de trabalho sem interrupções ou interferências, o que pode aumentar a eficiência e a produtividade do projeto como um todo.

O propósito do planejamento baseado em zonas de trabalho é aprimorar os fluxos de trabalho, de forma a evitar que os trabalhadores fiquem ociosos enquanto aguardam por novas tarefas, bem como reduzir o tempo em que as tarefas ficam paradas à espera de recursos e mão de obra disponíveis (SEPPÄNEN; BALLARD; PESONEN, 2010). O LBM, além de estar relacionado a melhorias nos fluxos de trabalho, tem como objetivo também a redução do trabalho em progresso (SACKS, 2016). Essa é uma importante métrica de desempenho utilizada na gestão de projetos que mede a quantidade de trabalhos em execução simultaneamente.

Vargas (2018) sugeriu um método para integração do LBM com BIM. O método consiste em duas séries de orientações que se referem a duas das fases principais definidas. O primeiro conjunto de orientações diz respeito à definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho e contribui para essa etapa crucial, que torna possível a definição dos lotes de produção e transferência. Já o segundo conjunto de orientações permite a identificação dos aspectos relevantes para categorizar os elementos do modelo BIM em itens, a fim de vinculá-los às tarefas ou componentes de custo. Os resultados do método desenvolvido consistem, principalmente, na linha de fluxo e no modelo 4D, os quais oferecem uma solução eficiente para visualizar os aspectos relacionados ao fluxo de trabalho, às informações sobre o produto, ao escopo do plano e à configuração espacial do projeto (VARGAS, 2016).

2.4.3 *Takt-time Planning* (TTP)

De acordo com Alvarez e Antunes Júnior (2001), o conceito de *takt-time* se refere ao ritmo de produção que é necessário para atender a uma determinada demanda, considerando as limitações de capacidade presentes na célula ou linha de produção. Essencialmente, o *takt-time* pode ser entendido como o tempo que regula o fluxo de materiais em uma célula ou linha de produção. O *Takt-time Planning* é uma técnica de planejamento de produção que utiliza o conceito de *takt-time* para determinar o ritmo de produção necessário para atender a uma determinada demanda. Essa técnica permite que os processos de produção sejam planejados de forma eficiente, garantindo que o fluxo de trabalho seja contínuo e que os produtos sejam entregues no prazo.

Vatne e Drevland (2016) descrevem os benefícios práticos dessa técnica, incluindo a melhoria da eficiência do processo, a redução dos tempos de espera e o aumento da produtividade geral do projeto. Frandson e Tommelein (2014) explicam que o Takt Time Planning (TTP) é um método eficaz para estruturar o trabalho em um projeto de construção, de modo que o sistema de produção tenha fluxo contínuo. O TTP permite que a equipe de construção estabeleça um ritmo constante de trabalho, baseado na demanda dos clientes e nas capacidades da equipe, garantindo assim que as atividades sejam realizadas de forma sincronizada e coordenada.

Frandson, Berghede e Tommelein (2013) propuseram um processo de seis etapas para o *Takt Time Planning* (TTP) em empreendimentos não repetitivos. A primeira etapa é a coleta de dados, que consiste em coletar informações sobre o processo de produção, incluindo a demanda

do cliente, as capacidades da equipe e dos recursos disponíveis. Em seguida, a definição das zonas de trabalho e do *Takt Time* é realizada, determinando como as atividades serão distribuídas e qual será o ritmo de produção necessário para atender à demanda do cliente. A terceira etapa é a identificação do sequenciamento das diferentes especialidades, ou seja, a ordem em que as atividades devem ser realizadas para maximizar a eficiência do processo de produção. Depois disso, o balanceamento do fluxo de trabalho é realizado, ajustando as atividades de acordo com as capacidades da equipe e dos recursos disponíveis. A quinta etapa é a determinação da duração de cada uma das especialidades, que permite definir quanto tempo será necessário para concluir cada atividade. Por fim, a última etapa é a finalização do planejamento da produção, que consiste em consolidar todas as informações coletadas e definir um plano de ação para a produção.

3 BIM 4D

BIM (*Building Information Modeling*) consiste em uma tecnologia de modelagem e um conjunto de processos associados, que permitem a criação, comunicação e análise de modelos de construção (EASTMAN *et al.*, 2011). Segundo o *National Institute of Building Sciences* (NIBS), o BIM é uma representação digital completa das características físicas e funcionais de uma instalação. Com essa tecnologia, é possível criar um recurso de conhecimento compartilhado para informações sobre um projeto de construção, que se torna uma base confiável para tomada de decisões em todas as fases do seu ciclo de vida (“*Building Information Management (BIM) Council | National Institute of Building Sciences*”, [s.d.]). Para o NIBS, desde a concepção inicial até a demolição, o BIM permite a colaboração de diferentes partes interessadas, que inserem, extraem, atualizam ou modificam informações no modelo para refletir as funções dessa parte interessada.

Já o BIM 4D é uma parte do BIM que adiciona a dimensão do tempo à modelagem. Isso significa que, além de representar as informações do projeto em 3D, o BIM 4D também permite a criação de simulações do cronograma de construção, integrando as informações do modelo BIM com a programação de construção (EASTMAN *et al.*). Segundo Biotto, Formoso e Isatto (2015) ao associar as durações das atividades ou etapas da construção, o modelo BIM 4D pode ser usado para projetar e planejar sistemas de produção de empreendimentos de construção por meio da visualização do plano de execução da obra.

Outra vantagem do BIM 4D é que ele pode ser utilizado para melhorar a comunicação entre os membros da equipe e os *stakeholders* do projeto, por meio da apresentação visual do processo construtivo em tempo real (EASTMAN *et al.*, 2011). Isso pode ajudar a reduzir as dúvidas e incertezas durante o processo de construção, melhorando a eficácia da colaboração e a qualidade do resultado final.

3.1 MODELAGEM 4D PARA O PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO

Este trecho do trabalho aborda dois métodos que propõem tipos de modelagem e etapas para elaboração de modelos 4D. O estudo de Biotto (2012) contribui de forma significativa, identificando três etapas importantes para a elaboração de simulações 4D. Essas etapas visam determinar as informações necessárias para a entrada nos softwares de BIM 4D e como utilizar

esse modelo para a análise de diferentes cenários, auxiliando na tomada de decisão. Por outro lado, o trabalho de Reck (2013) propõe três tipos de modelos para integração da Simulação de Eventos Discretos (SED) e BIM 4D no processo de planejamento dos sistemas de produção da construção civil. Além disso, apresenta um modelo de fluxo de processos que estabelece as relações entre as etapas de desenvolvimento do planejamento, modelagem e validações necessárias.

3.1.1 Modelos para o Uso de BIM 4D no Planejamento

3.1.1.1 Método para Projeto e Planejamento de Sistemas Produtivos da Construção Civil com o uso do BIM 4D

Biotto (2012) apresenta um método para gestão da produção com o uso de modelagem BM 4D composto por três etapas: (a) etapa de preparação; (b) etapa de elaboração de cenários; e (c) etapa de simulação 4D e análise de resultados. A seguir descreve-se cada etapa proposta por Biotto (2012) em particular.

(a) **etapa de preparação:** ocorre uma única vez durante a implantação do método, embora algumas decisões possam ser revisadas ao início de um novo empreendimento. A primeira decisão a ser tomada nessa etapa é a de quem serão os usuários do modelo BIM 4D. Usualmente esses usuários são: engenheiros e mestres de obras, engenheiros de planejamento e coordenadores ou gerentes de produção. Após, delimita-se o escopo de modelagem (nível de detalhamento do modelo), especificando-se o nível de desenvolvimento do sistema de produção estudado, bem como as unidades de análise: unidade base, empreendimento e canteiro de obras. A partir disso, pode-se escolher e adquirir computadores e softwares necessários à modelagem e utilização dos modelos BIM 4D. Além disso, os participantes devem ser orientados quanto à utilização de outras ferramentas de apoio à gestão, como: redes de precedência, planilha de dimensionamento de capacidade de recursos, linha de balanço, histogramas de recursos, diagramas de sincronia e sequenciamento da produção.

(b) **etapa de elaboração de cenários:** consiste na preparação das informações de entrada para modelagem 4D, incluindo as unidades de análise, escalas de tempo e definição do escopo de decisões. As unidades de análise são a unidade-base, o empreendimento e o módulo de repetição da unidade base. Algumas das decisões do método são baseadas no modelo proposto por 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. Somadas à essas decisões, avalia-se ainda: a definição dos equipamentos de transporte vertical, análise de

interferências de equipamentos de proteção coletiva e instalações de canteiro, planejamento da logística e leiaute do canteiro de obras. Sendo assim, é necessária a modelagem 3D da unidade-base, seu módulo de repetição e o empreendimento considerando os equipamentos de transporte vertical, equipamentos de proteção coletiva, estoques e layout de canteiro. Em seguida, deve-se elaborar um plano com datas contendo as atividades dos elementos modelados em 3D a ser incorporado em software BIM 4D.

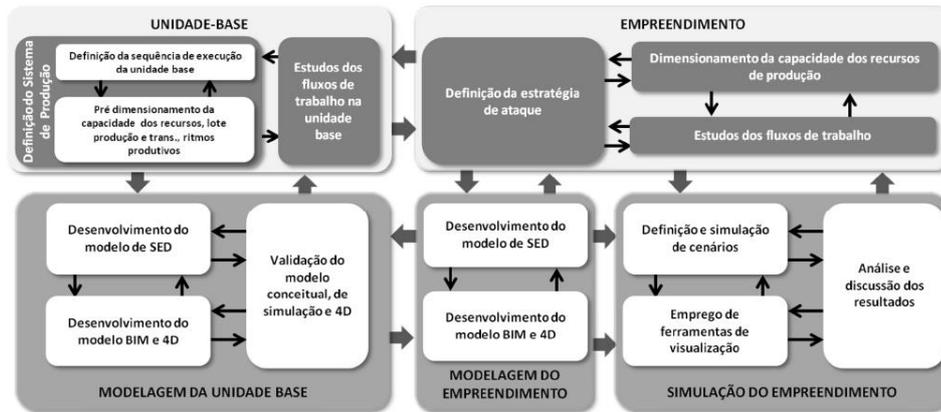
(c) **etapa de simulação 4D e análise de resultados:** Com o modelo 4D em mãos, pode-se avaliar alterações no modelo, ajustes de cronograma, ou da elaboração de novas alternativas e cenários do sistema de produção (BIOTTO, 2012). Segundo Biotto (2012), é nessa fase que as decisões são tomadas com o apoio da visualização 4D. Biotto (2012) comenta, ainda, que diferentes alternativas de cenários podem ser testadas a partir das ferramentas do método e do modelo 4D. Esse aspecto é muito importante no planejamento de obra, tendo em vista as incertezas envolvidas no processo construtivo e no impacto que as alterações nos planos de curto e médio prazo podem ter no planejamento de longo prazo (BIOTTO, 2012).

3.1.1.2 Integração da Simulação de Eventos Discretos e Visualização BIM 4D no Projeto de Sistema de Produção

Reck (2013) propôs um método para modelagem e projeto do sistema de produção com base em três diferentes tipos de modelo: o conceitual, o de simulação de eventos discretos (SED) e o modelo 4D. O modelo conceitual, segundo Reck (2013), é composto pelo diagrama de precedência e planilha de pré-dimensionamento da capacidade de recursos, assim como nos trabalhos de Biotto (2012), Rodrigues (2006) e Schramm (2004 e 2009), e o modelo BIM. Como o modelo BIM facilita na compreensão e entendimento do sistema de produção, este deve ser modelado em paralelo com outras definições do modelo conceitual, como o diagrama de precedência e planilha de pré-dimensionamento da capacidade de recursos (RECK, 2013).

O modelo SED envolve planilhas eletrônicas de entrada e saída de dados e a lógica de programação do modelo (RECK, 2013). Já o modelo BIM 4D é constituído por um modelo BIM com informações sobre as atividades em IFC, o plano de execução do empreendimento e equipamentos temporários (andaimos, guias, caminhões, etc). A Figura 8 abaixo apresenta o método final de modelagem proposto por Reck (2013). Os desenvolvimentos dos modelos SED e BIM 4D acontecem para a unidade-base e para o empreendimento. Após as modelagens e validações, desenvolvem-se as simulações que auxiliam as tomadas de decisões.

Figura 8 - Método para modelagem de PSP segundo Reck (2013)



(fonte: Reck 2013)

4 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia de estudo utilizada como base para a elaboração deste trabalho. Serão descritos, em um primeiro momento, o delineamento do estudo, seguido pela apresentação das etapas de elaboração do PSP. Adicionalmente, serão detalhadas as atividades realizadas durante o processo de elaboração do PSP.

4.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO E ESTRATÉGIA ESCOLHIDA.

O presente trabalho se caracteriza pela elaboração de um estudo sobre a integração do BIM 4D com o sistema de planejamento de uma incorporadora para uma obra de alto padrão. O empreendimento em questão é um prédio residencial, com estacionamentos no subsolo e térreo, 2º pavimento com área condominial externa, 17 pavimentos tipo, cobertura privativa e condominial. Cada pavimento tipo é composto por 6 unidades residenciais, sendo 2 tipologias (apartamentos de ponta e de meio), totalizando 104 unidades privativas com áreas de 100 m² (Figura 10) e 148 m² (Figura 11). O empreendimento conta com um terreno de 4.516,04 m² e área construída total de 21.839,97 m². A edificação (Figura 9) está localizada na no bairro Menino Deus da cidade de Porto Alegre - RS. A infraestrutura de lazer condominial conta com espaço para recreação infantil (*Kids*), salão de festas, academia, sala de massagem, sauna, piscinas interna e externa, quadra de tênis e quadra poliesportiva.

Figura 9 - Imagem de divulgação do empreendimento estudado.



(fonte: empresa M)

Figura 10 - Planta baixa do apartamento de 100 m².

(fonte: empresa M)

Figura 11 - Planta baixa do apartamento com 148 m².

(fonte: empresa M)

A empresa à qual pertence o projeto, denominada nesse trabalho de empresa M, é conhecida por sua expertise em desenvolver empreendimentos de alto padrão, com foco na qualidade e na

excelência dos acabamentos. É uma construtora brasileira com mais de 50 anos de atuação no mercado imobiliário de Porto Alegre – RS, com forte presença nos segmentos de empreendimentos residenciais, comerciais e mistos.

Como o trabalho tem como características ser uma investigação de um fenômeno particular com foco na compreensão desse fenômeno em seu contexto, utiliza diversas fontes de evidências e busca gerar generalizações acerca do tema, o estudo em questão pode ser definido como estudo de caso. Segundo Yin (2015), o estudo de caso é uma pesquisa empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente evidentes. O autor destaca que o estudo de caso é apropriado quando se pretende explorar um fenômeno em profundidade, descrever sua complexidade, capturar a perspectiva de múltiplos atores, testar teorias e hipóteses e gerar *insights* para futuras pesquisas.

Além disso, o autor exerce funções na coordenação de projetos da empresa M, o que o garante acesso privilegiado à dados internos, além de contato direto com as diferentes equipes que participam do desenvolvimento do empreendimento.

4.1.1 Fontes de evidências

4.1.1.1 Entrevistas

De acordo com Yin (2015), as entrevistas são uma forma de coletar dados qualitativos através da interação entre o pesquisador e o entrevistado. A realização de entrevistas com o Engenheiro responsável foi uma das estratégias adotadas, visando obter informações relevantes acerca do empreendimento em questão. O profissional entrevistado ocupava uma posição central no projeto, sendo o representante da equipe em reuniões com outros setores da empresa e responsável pelas definições sob o escopo da equipe de obra.

A importância dessa abordagem se dá em virtude da grande quantidade de informações que podem ser obtidas a partir das perspectivas dos profissionais envolvidos no projeto. Em muitos casos, estes profissionais possuem um conhecimento aprofundado sobre o empreendimento, incluindo detalhes sobre as estratégias adotadas, particularidades da obra, desafios enfrentados e soluções encontradas.

Desta forma, as entrevistas com o Engenheiro responsável pela execução da obra permitiram ao autor do presente estudo coletar informações fundamentais para a análise e compreensão do empreendimento. Tais informações foram essenciais para uma análise mais profunda acerca das estratégias adotadas, resultados alcançados, e para a identificação de possíveis lições aprendidas que poderiam ser aplicadas em projetos futuros.

Foram realizadas quatro entrevistas com o propósito de apresentar o conceito de Projeto de Sistema de Produção e suas etapas, desenvolver o método de Schramm (2004), além de apresentar e discutir o plano de ação do empreendimento estudado. Cada entrevista teve cerca de 1 hora de duração.

4.1.1.2 Análise de Documentos

A análise de documentos é uma técnica importante em estudos de caso, que pode fornecer informações valiosas sobre o contexto e os resultados do caso em questão. Para isso, o autor lançou mão dos arquivos de projetos (2D e 3D) e do acervo da empresa para documentos quanto ao planejamento, divulgação, processos internos, entre outros. Sendo assim, foi possível avaliar não apenas o plano da obra em estudo, mas também de obras que já haviam sido executadas a fim de comparação e aquisição de dados para montagem das etapas do trabalho.

4.2 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

4.2.1 Seleção de *Software*

A escolha dos *Software* a serem utilizados no trabalho teve como aspectos principais a viabilidade de utilização pela empresa em estudo e o acesso aos programas pelo autor. A empresa M já possuía pacote de programas da Autodesk, o que permitia às suas equipes o manejo sem limitações dos softwares *Revit* (3D) e *Navisworks* (4D). Como o autor faz parte do setor de Projetos da empresa estudada, também já possuía esses acessos. Além disso, utilizou-se um segundo *software* para edição e visualização do cronograma da obra. Esse devia ser compatível com o programa utilizado para elaboração do arquivo, o que levou o autor a utilizar o *MS Project* (Microsoft).

O *Navisworks* é um software de modelagem 3D e coordenação de projetos de construção. Ele permite que os usuários integrem e visualizem modelos 3D de diversas fontes, incluindo *Autodesk Revit*, *AutoCAD*, *SketchUp*, e outras ferramentas de modelagem BIM. O *Navisworks* também oferece recursos de detecção de conflitos, que permitem que os usuários identifiquem e resolvam conflitos entre elementos do projeto, antes mesmo do início da construção.

Sendo assim, a empresa M fazia uso desse *software* principalmente para visualização 3D, coordenação e compatibilização de projetos 3D. O programa era amplamente utilizado pelo setor de Projetos, porém pouco difundido entre as demais equipes da empresa em decorrência da falta de conhecimento quanto à utilização e a disponibilidade de licenças estar vinculada principalmente ao setor de Projetos.

Com a funcionalidade de modelos 4D, o *Navisworks* permite que os usuários criem cronogramas de construção em 3D integrados ao modelo do projeto. O *Navisworks* pode importar informações de programação de diferentes formatos, incluindo Microsoft Project, Primavera e outros, permitindo que os usuários criem modelos 4D que mostrem a programação de construção, o progresso e o cronograma do projeto. Entretanto, a ferramenta *Timeliner*, responsável pela vinculação do cronograma ao modelo 3D dentro do *software*, apresenta diversas limitações e não é de simples compreensão. Uma limitação considerável dentro da elaboração de um plano de longo prazo através do software é a de permitir apenas uma sequência de eventos lineares, o que torna o software inflexível quanto à análise e comparação de diferentes cenários.

4.2.2 Elaboração do PSP e Modelagem 4D

Primeiramente, o autor buscou entendimento quanto aos projetos da obra em estudo através do acervo de arquivos de projetos 2D e 3D disponibilizados. A partir disso, foi realizada uma primeira reunião com o Engenheiro responsável e seu assistente a fim de explicar o conceito de Projeto de Sistema de Produção (PSP) e suas etapas. No mesmo encontro, pôde-se definir a unidade base do empreendimento, sua sequência de atividades, número de equipes estimado e tempos de ciclo esperados. Com essas informações, o autor estudou a setorização da unidade base e propôs alteração em relação ao previsto pelo planejamento. Assim, foi possível elaborar a linha de balanço da unidade base, para análise de fluxos e ritmos de produção, e a planilha de pré-dimensionamento de recursos, que foi apresentada e discutida em uma segunda agenda.

Nesse segundo encontro, o autor buscou, também, a compreensão do plano de ataque que já havia sido elaborado pelo Engenheiro da obra e a equipe de planejamento, questionando alguns aspectos que não estavam claros e outros que não haviam sido indicados na apresentação.

Na sequência, o autor partiu do plano de ataque da obra, para analisar os fluxos e estudar cenários solicitados na segunda reunião. Desta forma, os cenários foram representados na Linha de Balanço do empreendimento, o que permitiu a definição de qual a melhor estratégia para a sequência da obra. Após essa definição, o autor partiu para a modelagem 4D do empreendimento. Verificou-se a necessidade da modelagem do layout do canteiro para verificar-se possíveis conflitos com as atividades produtivas, então o autor acabou por modelá-las através do *software Autodesk Revit*. Com isso, vinculou-se o planejamento da obra elaborado em *Microsoft Project* ao *software 4D* e avaliou-se as diferentes etapas da obra para identificação de problemas de planejamento e logísticos. O autor, a partir dessa avaliação, propôs alterações no plano e elaborou uma planilha onde registrou-se os pontos de melhoria do plano identificados através da simulação 4D.

Após, elaborou-se um plano para o *layout* de canteiro que continha diferentes soluções para diferentes etapas do empreendimento, tendo em vista as limitações de espaço no canteiro. Por fim, foi realizada a identificação e projeto de um processo crítico da obra. Através dessa etapa, foi possível analisar e detalhar aspectos essenciais para o sucesso das atividades, sugerindo-se pontos de melhoria e definindo-se soluções.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO DE OBRAS

O sistema de planejamento de obras da empresa M está sob o escopo do Setor de Planejamento. Esse setor tem por objetivo controlar, medir e gerar planos de ação, e está sob o escopo da Diretoria Técnica da empresa (Figura 11). O início das atividades de planejamento se dá quando da sinalização do setor de Novos Negócios indica a possibilidade de lançamento de um novo produto. A partir disso, a equipe responsável elabora um cronograma pouco detalhado e conservador com base nos dados de análise do terreno, estudo de massa, sondagem e topografia, memorial descritivo preliminar e faseamento da obra. Esse cronograma busca estimar um prazo de obra para a análise da diretoria. Após essa entrega é realizado um comitê com os membros da alta diretoria que avalia a viabilidade do negócio e define a sequência das etapas de desenvolvimento do empreendimento.

Figura 12 – Fluxograma do processo padrão de planejamento da empresa M.



(fonte: empresa M)

A partir da definição de que o negócio é viável, inicia-se o período de desenvolvimento do produto, onde são definidas as características e entregáveis do empreendimento. Nessa etapa começam a serem elaborados os projetos. O próximo marco para a empresa é a realização do comitê que define se o produto será, de fato, lançado, com base em projetos e orçamentos

preliminares. Nessa etapa o setor de planejamento é responsável por elevar o detalhamento do cronograma do empreendimento com base nos projetos emitidos. Ou seja, o plano elaborado via *MS Project* é atualizado com as particularidades que surgem durante o desenvolvimento do projeto e, nesse momento, o projeto arquitetônico e estrutural já estão em BIM 3D. Não existe prazo definido entre o primeiro comitê e o segundo, esse podendo ser de meses ou, até mesmo, anos, dependendo do cenário socioeconômico que envolve o negócio da incorporação. Durante o prazo de elaboração do segundo comitê, a empresa define se o empreendimento tem condições de ser lançado nos próximos seis meses. É nesse momento que o prazo final de obra é pactuado, ou seja, antes da elaboração de um plano de longo prazo consolidado e sem a análise da estratégia de produção da obra.

Durante os seis meses que sucedem a definição do prazo de obra, são realizadas as seguintes atividades, de forma sequencial:

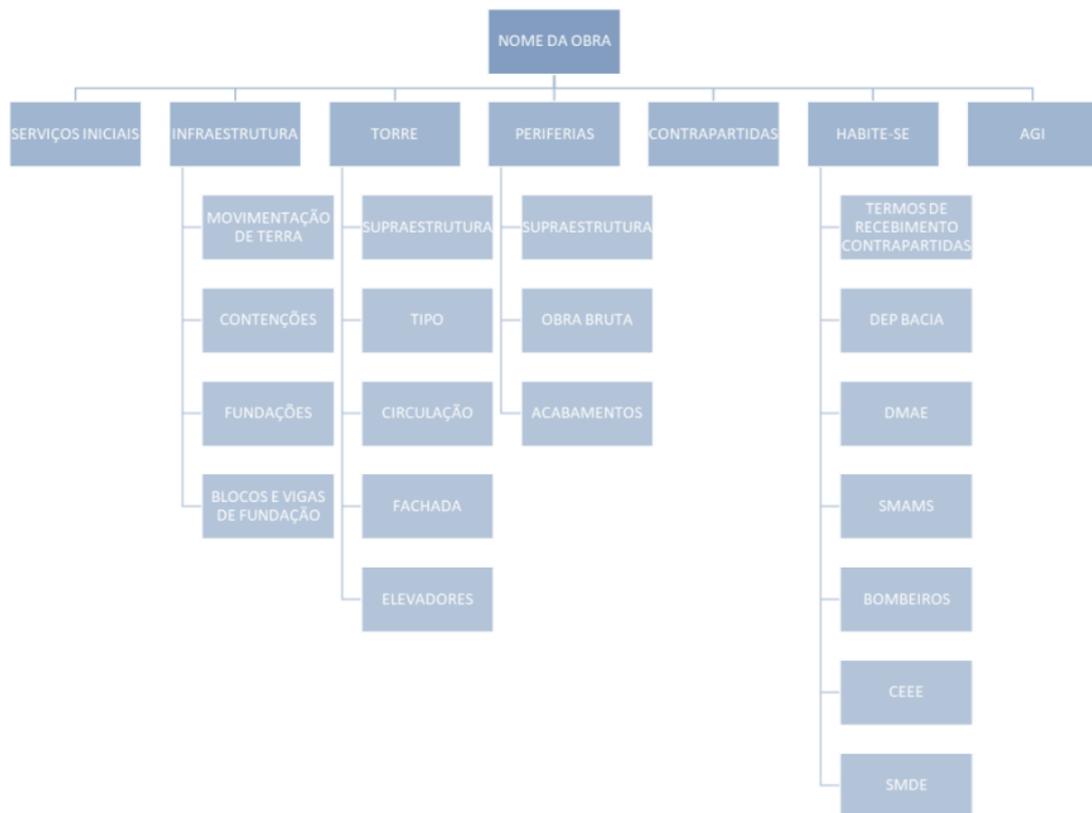
- a) **Definição do gestor da obra:** Nessa etapa é definido o engenheiro que ficará responsável pela obra em questão. Antes dessa definição, é escopo do gerente de obras as decisões necessárias quanto ao desenvolvimento do projeto.
- b) **Apresentação do plano de ataque:** O gestor da obra, com apoio da gerência e do setor de planejamento, elabora o plano de ataque do empreendimento e o apresenta para os responsáveis dos demais setores da empresa.
- c) **Elaboração do cronograma executivo:** Após a apresentação e possível revisão do plano de ataque, elabora-se o cronograma executivo do empreendimento fazendo-se uso do programa *MS Project*. Esse cronograma deve respeitar o prazo já definido de obra.

Segundo o documento de procedimento interno da empresa, o início de obra se daria após a emissão e aprovação do cronograma executivo. Porém, muitas vezes isso não acontece em decorrência de atrasos na realização do comitê de lançamento (segundo comitê), o que reduz o tempo entre comitê e início de obra, e da limitação da capacidade da equipe de planejamento de atender as mais diversas obras da empresa que estão em desenvolvimento de produto ou em execução. No caso da obra estudada, até o momento que o trabalho foi entregue o cronograma executivo não havia sido apresentado e validado. Ou seja, a obra já estava no terceiro mês de produção sem um plano de longo prazo consolidado.

O cronograma executivo é elaborado a partir de um arquivo padrão, que segue EAP conforme a Figura 13. A empresa possui, também, um documento onde são descritas as atividades a serem

realizadas no pavimento tipo dos empreendimentos de acordo com o padrão de entrega. É o cronograma executivo que define as datas metas a serem atingidas pela equipe da obra, ou seja, muitas vezes a obra inicia sem o conhecimento das datas que nortearão seu desenvolvimento. Após o início de obra, o setor de planejamento é responsável pelo acompanhamento do planejamento de longo e médio prazo. Como essas atividades não são de interesse do presente trabalho, não estão descritas.

Figura 13 - Diagrama representativo da EAP padrão do cronograma executivo.



(fonte: empresa M)

5.2 ANÁLISE DO SISTEMA PRODUTIVO A PARTIR DA METODOLOGIA DE PSP

5.2.1 Captação Das Necessidades Do Cliente

Na etapa de captação das necessidades do cliente, o autor propôs a identificação das principais metas a serem atingidas pela equipe da obra. Entretanto, como as datas metas da empresa se baseavam no cronograma executivo e esse não estava finalizado e aprovado, não existiam datas

metas como referência. Apenas tinha-se a definição do prazo global de obra, que deveria ser de 28 meses (com tolerância de 180 dias) e estava definido desde a época de orçamento preliminar. Além dessa premissa, existiam demandas por parte da diretoria e setor de planejamento quanto à prazos para execução de algumas atividades específicas que foram apresentadas no plano de ataque inicial da obra, que estão relacionadas na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Meta de durações de atividades.

LOCAL	ATIVIDADE	DURAÇÃO META
SUBSOLO	CONTENÇÕES	40 dias
SUBSOLO	ESTACAS	20 dias
SUBSOLO	ESTRUTURA	50 dias
TÉRREO	ESTRUTURA	20 dias
2º PAVIMENTO	ESTRUTURA	15 dias
TIPO	ESTRUTURA	8 dias/pavimento
FACHADA TORRE	REBOCO EXTERNO	60 dias

(fonte: elaborada pelo autor)

Quanto ao faseamento, a obra deveria ser entregue em uma única etapa. Porém, parte do canteiro de obras, onde seria executada a quadra de tênis, era ocupada pelo plantão de vendas que seria desmobilizado 10 meses depois do início da obra. Com isso, os acessos ao canteiro deveriam acontecer prioritariamente pelo trecho do canteiro oposto ao plantão (Figura 14).

Figura 14 - Planta baixa do térreo com indicação de acessos e posição PDV.

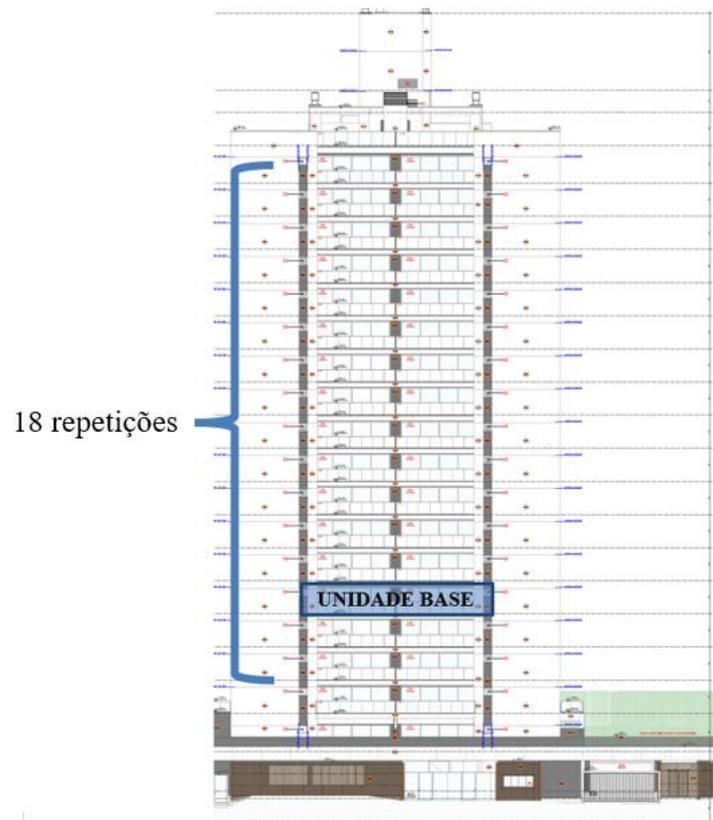


(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.2 Definição da sequência de execução da unidade base e pré-dimensionamento da capacidade produtiva

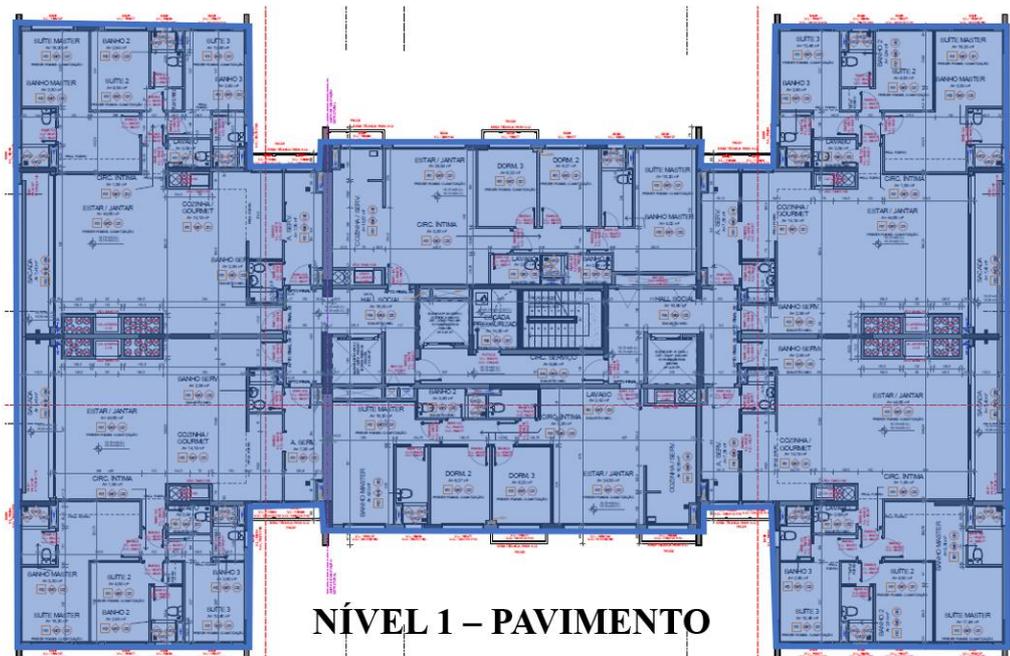
Definiu-se que a unidade base da obra seria o pavimento tipo. Essa escolha é lógica em decorrência de ser a divisão com maior grau de repetitividade de serviços dentro do empreendimento. Assim, essa unidade de análise ainda pôde ser dividida para diferentes lotes de produção, dependendo da atividade considerada e tendo em vista a diferença de ritmos entre as atividades e seus lotes de transferência. Desta forma dividiu-se os lotes de produção da unidade base seguindo diferentes níveis hierárquicos: (1) Nível 1 – Pavimento tipo e (2) Nível 2 – Metades do pavimento e circulação. A Figura 8 abaixo apresenta a unidade base do empreendimento e suas repetições, e as Figuras 9 e 10 as plantas baixas com os níveis hierárquicos de divisão de lotes da unidade base.

Figura 15 - Corte esquemático indicando as repetições da unidade base.



(fonte: elaborada pelo autor)

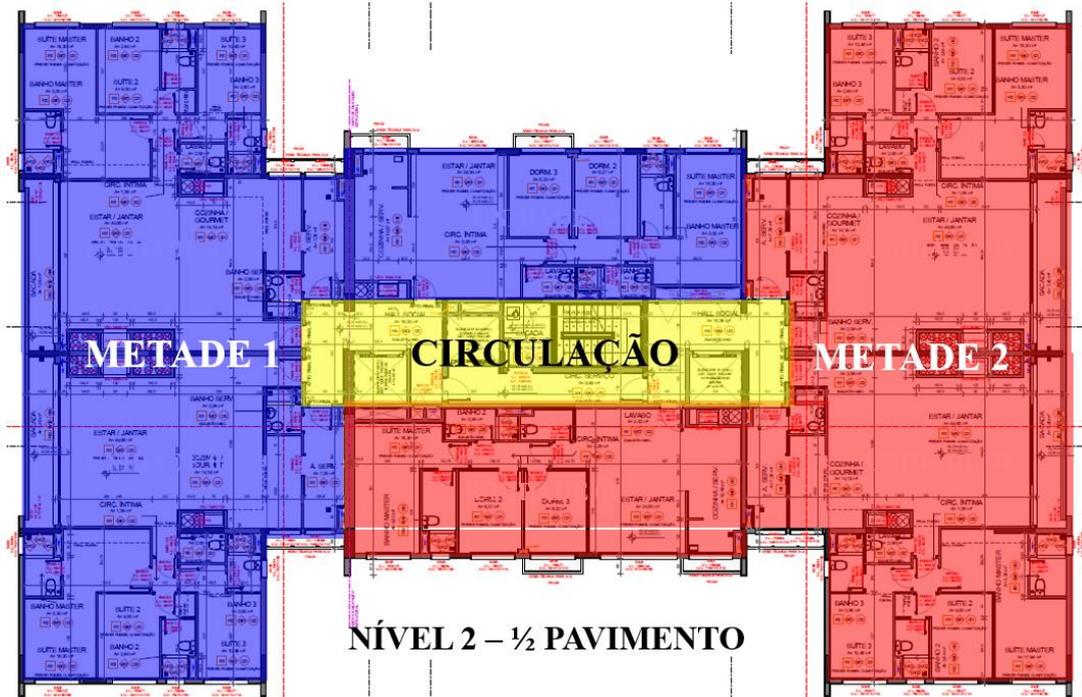
Figura 16 - Nível 1 do sistema de localização da unidade base.



NÍVEL 1 – PAVIMENTO

(fonte: elaborada pelo autor)

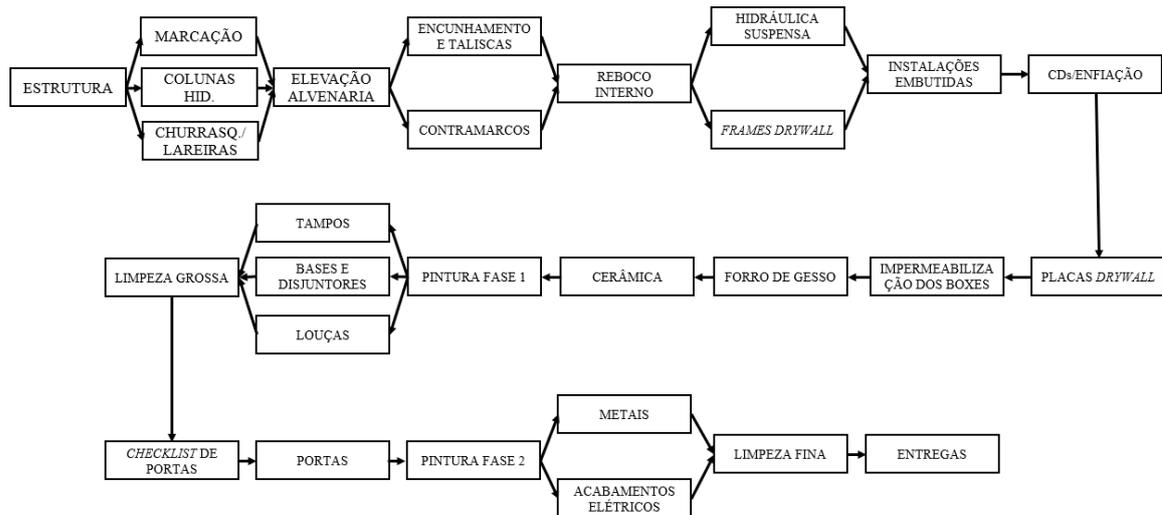
Figura 17 - Nível 2 do sistema de localização da unidade-base.



(fonte: elaborada pelo autor)

A partir da definição da unidade base e seu sistema de localização a partir, pôde-se definir a sequência de execução. Como a empresa em estudo já possui um grande portfólio de empreendimentos do mesmo padrão, foi possível definir a sequência de atividades com base no histórico de empreendimentos já entregues. A Figura 18 expõe o diagrama de precedência das atividades da unidade base a partir de um arquivo de cronograma padrão utilizado como base para o desenvolvimento dos cronogramas executivos dos empreendimentos da empresa M.

Figura 18 - Diagrama de precedência das atividades da unidade-base



(fonte: elaborada pelo autor)

Com a rede de precedência das atividades da unidade base, estuda-se o nível de integração vertical. A empresa M tem seus contratos para serviços de execução de obra como empreitada global, ou seja, os processos produtivos não são de responsabilidade da própria empresa, mas sim de empreiteiros contratados por um valor fixo. Além disso, boa parte dos materiais são contratados via faturamento direto, o que faz com que os empreiteiros tenham que garantir preços, se responsabilizem pela compra e garantam o fornecimento adequado para os serviços executados, e isso inclui a responsabilização por possíveis perdas que venham a acontecer. Porém, o concreto, as argamassas e blocos cerâmicos são comprados diretamente pela empresa M para garantia da qualidade.

Com a sequência de atividades e o nível de integração vertical definidos, elaborou-se a planilha de pré-dimensionamento de recursos referenciada pelo arquivo de cronograma padrão. Durante essa etapa, o autor e o engenheiro responsável identificaram que algumas atividades não constavam explicitamente no documento, tendo em vista que são atividades estratégicas adotadas pela empresa para reduzir as esperas. Primeiramente, foi criada a atividade de fechamento da alvenaria das churrasqueiras. Esse serviço é fundamental para o sequenciamento entre a elevação de alvenaria e a marcação, além de permitir o fluxo contínuo. A partir da nova tarefa evita-se a relação de precedência entre o serviço de montagem das churrasqueiras e a elevação, o que é benéfico tendo em vista que o primeiro possui um lote de transferência 3 vezes maior que a marcação de alvenaria. Com isso, reduziu-se o lote de transferência da montagem de churrasqueiras de 3 pavimentos para 1 pavimento.

A outra atividade criada foi o plaqueamento dos boxes das suítes. Essa tarefa permite que a impermeabilização dos boxes, atividade com grande tempo de ciclo e que demanda espera para teste de estanqueidade, aconteça mais cedo dentro do fluxo de atividades do pavimento tipo. Assim, logo após a finalização dos frames de *drywall*, inicia-se o plaqueamento dos boxes para liberação do início da impermeabilização. Apesar de a inclusão do serviço de plaqueamento dos boxes não reduzir o tempo de ciclo da atividade de plaqueamento, ela permite que se evite longos tempos de espera e processamento que acabam atrasando o início do plaqueamento de *drywall* e forros de gesso, atividades essas que são críticas dentro do cronograma da unidade-base.

Outra análise possível a partir da planilha de pré-dimensionamento de recursos foi quanto aos tempos de ciclo e lotes de produção que estavam sendo considerados pela equipe de planejamento da obra. No cronograma executivo que estava em elaboração, seguindo o arquivo padrão já mencionado, considerava-se que o lote de produção e transferência para todas as atividades da unidade-base sejam o próprio pavimento. Essa ideia conflita com o conceito de planejamento baseado em localização e, inclusive, com os lotes de produção considerados pela equipe de obra para as atividades da unidade-base, tendo em vista que diversas atividades produzem e transferem lotes menores que o pavimento. Ademais, os tempos de ciclo de praticamente todas as atividades eram considerados como 8 dias, prazo esse que não refletiu a realidade quando se verificou dados de cronogramas de obra semelhantes já concluídas. Entretanto, o engenheiro responsável pela obra preferiu seguir com o padrão de lotes já adotado pela empresa, pois assim, além de simplificar o cronograma executivo, a equipe já saberia identificar as atividades que existem folgas e ajustar datas para mitigar possíveis atrasos que impactassem no cronograma de entrega do empreendimento e nas metas a serem atingidas pela equipe. Para fins de estudo e possível controle futuro da produção, o autor ajustou os tempos de ciclo das atividades de acordo com os lotes de produção definidos pelo planejamento baseado em localização, ou seja, reduziu-se os lotes em relação ao definido pelo cronograma executivo, e elaborou a Tabela 2 para pré-dimensionamento de recursos.

Tabela 2 - Planilha de pré dimensionamento de recursos da unidade base

Cód.	Atividade Descrição	Tempo de ciclo (dias)	Mão de obra		Lote de produção	Lote de transferência	Atividades precedentes
			Equipe(s)	Trabalh.			
1	Supraestrutura	8	EST1/HID1/ELE1	15	pavimento	4 pavimentos	Estrutura base
2	Marcação de alvenaria	5	ALV1	5	pavimento	pavimento	1
3	Colunas hidráulicas	5	HID1	1	pavimento	pavimento	1
4	Churrasqueira e lareira	3	CHUR1	3	1/2 pavimento	3 pavimentos	2
5	Elevação de alvenaria	3	ALV1	6	1/2 pavimento	pavimento	2;3
6	Encunhamento e taliscas	2	ALV1	2	pavimento	4 pavimentos	5
7	Contramarco	5	CONT1	3	pavimento	pavimento	6
8	Fechamento churrasqueira	2	ALV1	2	pavimento	pavimento	4
9	Embutidas em alvenaria	8	GAS1/ELE1	6	pavimento	pavimento	6
10	Reboco interno	10	REB1	6	pavimento	pavimento	7;9
11	Hidráulica suspensas	8	HID1	4	pavimento	pavimento	10
12	Frame	5	DRY1	4	pavimento	pavimento	11
13	Embutidas em <i>drywall</i>	5	ELE1/HID1/ARC1	8	pavimento	pavimento	12
14	CDs/Enfição	5	ELE1	3	1/2 pavimento	1/2 pavimento	13
15	Plaqueamento box	1	DRY1	1	1/2 pavimento	1/2 pavimento	13
16	Impermeabilização box	3	IMP1	3	1/2 pavimento	pavimento	15
17	Plaqueamento <i>drywall</i>	2	DRY1	3	1/2 pavimento	pavimento	13;14;16
18	Cerâmica piso/parede	3	CER1	6	1/2 pavimento	1/2 pavimento	17
19	Pintura 1ª fase	3	PINT1	3	1/2 pavimento	1/2 pavimento	18
20	Tampos	3	TAMP1	2	pavimento	pavimento	19
21	Bases e Disjuntores	3	ELE1	3	pavimento	pavimento	19
22	Louças	3	HID1	2	pavimento	pavimento	19
23	Limpeza grossa	3	LIMP1	3	pavimento	pavimento	20;21;22
24	Checklist portas	1	-	-	1/2 pavimento	pavimento	23
25	Portas	5	PORT1	4	pavimento	pavimento	24
26	Pintura 2ª fase	3	PINT1	3	1/2 pavimento	pavimento	25
27	Metais	5	HID1	2	pavimento	pavimento	26
28	Acabamentos elétricos	5	ELE1	2	pavimento	pavimento	26
29	Limpeza fina	5	LIMP1	3	pavimento	pavimento	27;28

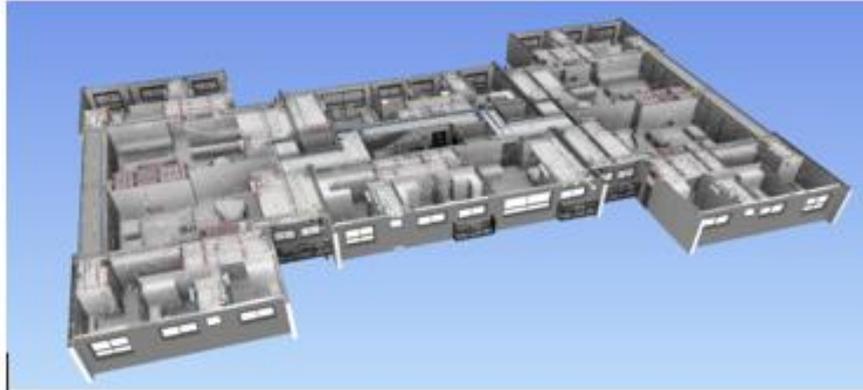
(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.2.1 MODELO DA UNIDADE BASE E SEQUENCIAMENTO DE ATIVIDADES

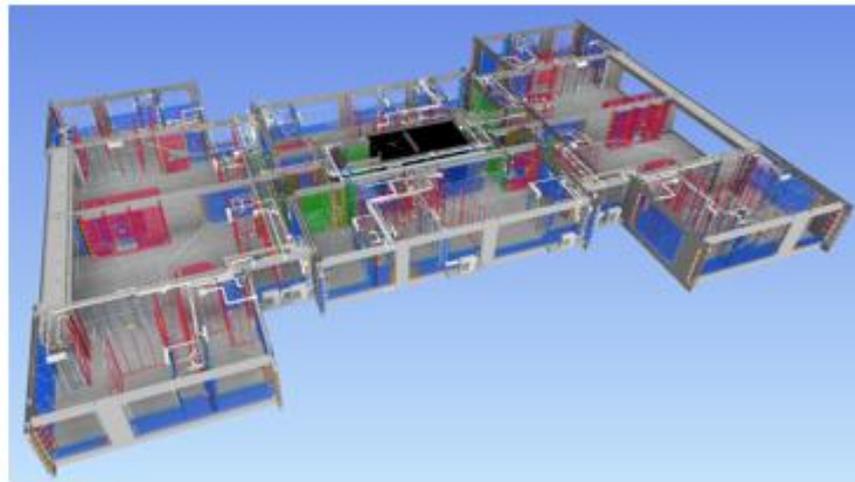
Na primeira etapa da elaboração do PSP, não foi realizada modelagem 4D. Utilizou-se o modelo 3D do pavimento tipo (unidade base) a fim de entender a relação de precedência entre algumas atividades e ajustar o sequenciamento de atividades que havia sido elaborado inicialmente (Figura 19a). A partir de edições no modelo 3D, como a ocultação, aplicação de transparência e sobreposição de cores dos elementos (Figura 19b), avaliou-se as interfaces das instalações com as divisórias internas a fim de entender os serviços que deveriam acontecer antes do reboco interno. Assim, foi criada uma atividade nomeada como “Embutidas em alvenaria” para representar as instalações de gás e elétricas que devem ser executadas embutidas nas paredes

de alvenaria. Nesse momento, identificou-se, também, que as instalações de ar condicionado e exaustão não tinham interface com as paredes de alvenaria, podendo, portanto, serem executadas após o reboco interno.

Figura 19 - Modelo da unidade base: (a) Não modificado (b) modificado para análise das instalações.



(a)



(b)

(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.3 Estudo dos fluxos de trabalho da unidade base

Para o estudo de fluxos de trabalho da unidade base, lançou-se mão essencialmente da ferramenta da linha de balanço. Conforme já mencionado, o arquivo padrão de cronograma utilizado pela equipe de planejamento da empresa M previa os lotes para todas as atividades do pavimento tipo como sendo o próprio pavimento, além de considerar um TC (tempo de ciclo) padrão de 8 dias. Esse cenário garante que a programação das atividades tenha um ótimo desempenho quanto à continuidade dos fluxos de trabalho. Entretanto, não representa o que efetivamente se produz, o que pode implicar em diversas revisões de cronograma e necessidade de muitas tarefas substituídas para mitigar tempos de espera.

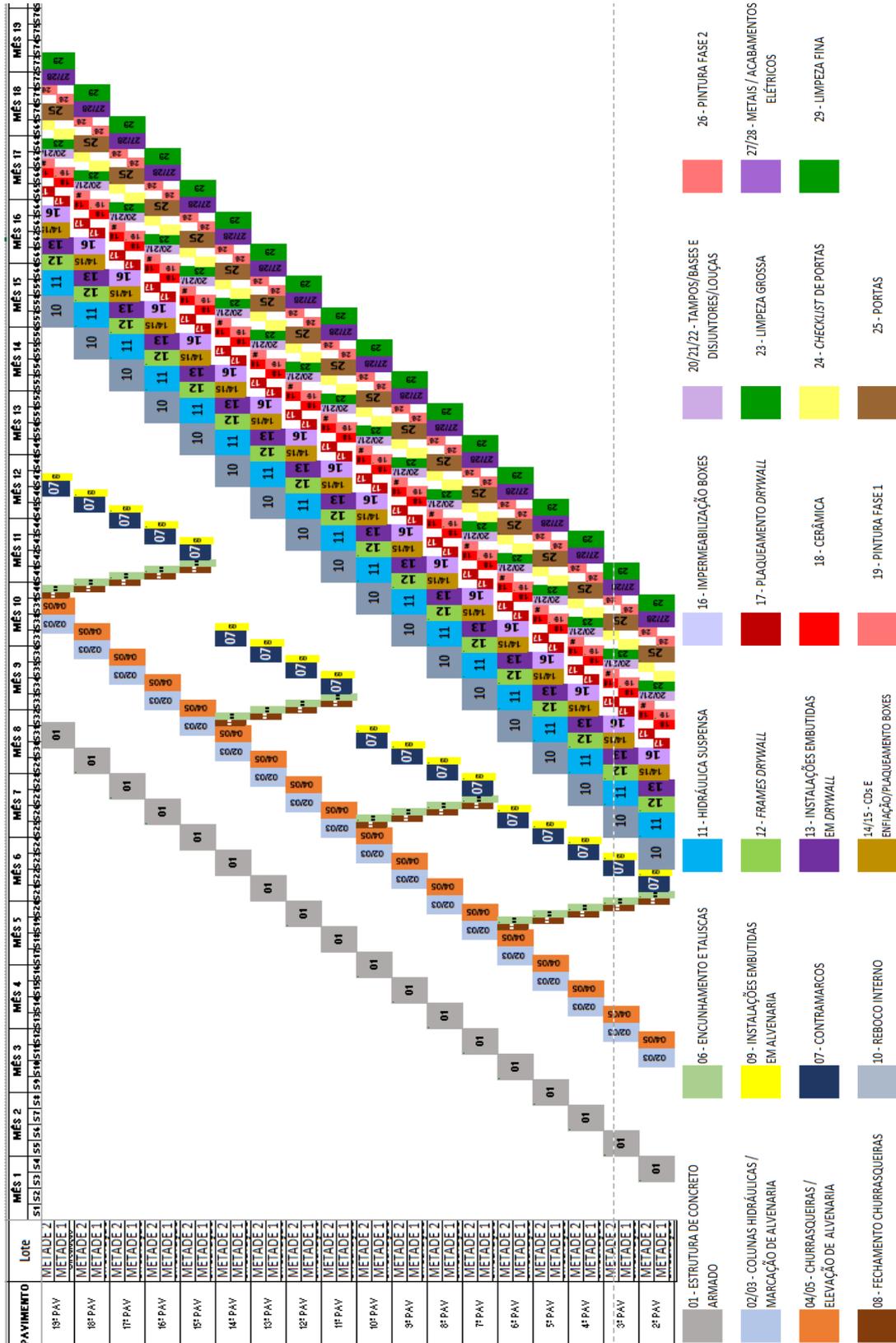
Sendo assim, o autor optou por elaborar duas linhas de balanço. Ambas com os tempos de ciclo e lotes de produção definidos junto ao engenheiro de obra, porém uma respeitando as relações de precedência do cronograma executivo (Figura 20) e outra ajustando-se os inícios e terminos das atividades prezando-se pela continuidade dos fluxos de trabalho (Figura 21). Na primeira abordagem, percebeu-se que, após a conclusão da estrutura do pavimento, quase todas as atividades sofriam com interrupções quando da finalização de um lote e início do próximo (transferência). Nessa configuração, os serviços com ritmo menor acabam influenciando o ritmo dos demais, ou seja, as atividades de ritmo superior acabam esperando a conclusão das anteriores, sem lotes disponíveis para produção. Com essa LB chegou-se a um prazo de 355 dias para conclusão dos pavimentos tipos.

A segunda linha de balanço elaborada pelo autor visou a obtenção do fluxo contínuo para as atividades da unidade. Nesse cenário, percebeu-se a criação de períodos de trabalho em progresso em decorrência dos diferentes ritmos de cada serviço. Ou seja, mesmo que as atividades não sofram interrupções na transferência de lotes, existem períodos nos quais determinados pavimentos ficam em espera, sem possibilidade da entrada do próximo serviço pelo fato de que a equipe que o executa está produzindo outro lote ou por que o início imediato causaria interrupções devido às diferenças de ritmos produtivos (semelhante ao que acontece na primeira linha de balanço). Esse cenário indicou um prazo de 487 dias para conclusão das atividades dos pavimentos tipo.

A equipe de planejamento da empresa M, e também a de obra, não tem como procedimento e nem como costume analisar os fluxos através da linha de balanço. Portanto, o autor sugeriu que

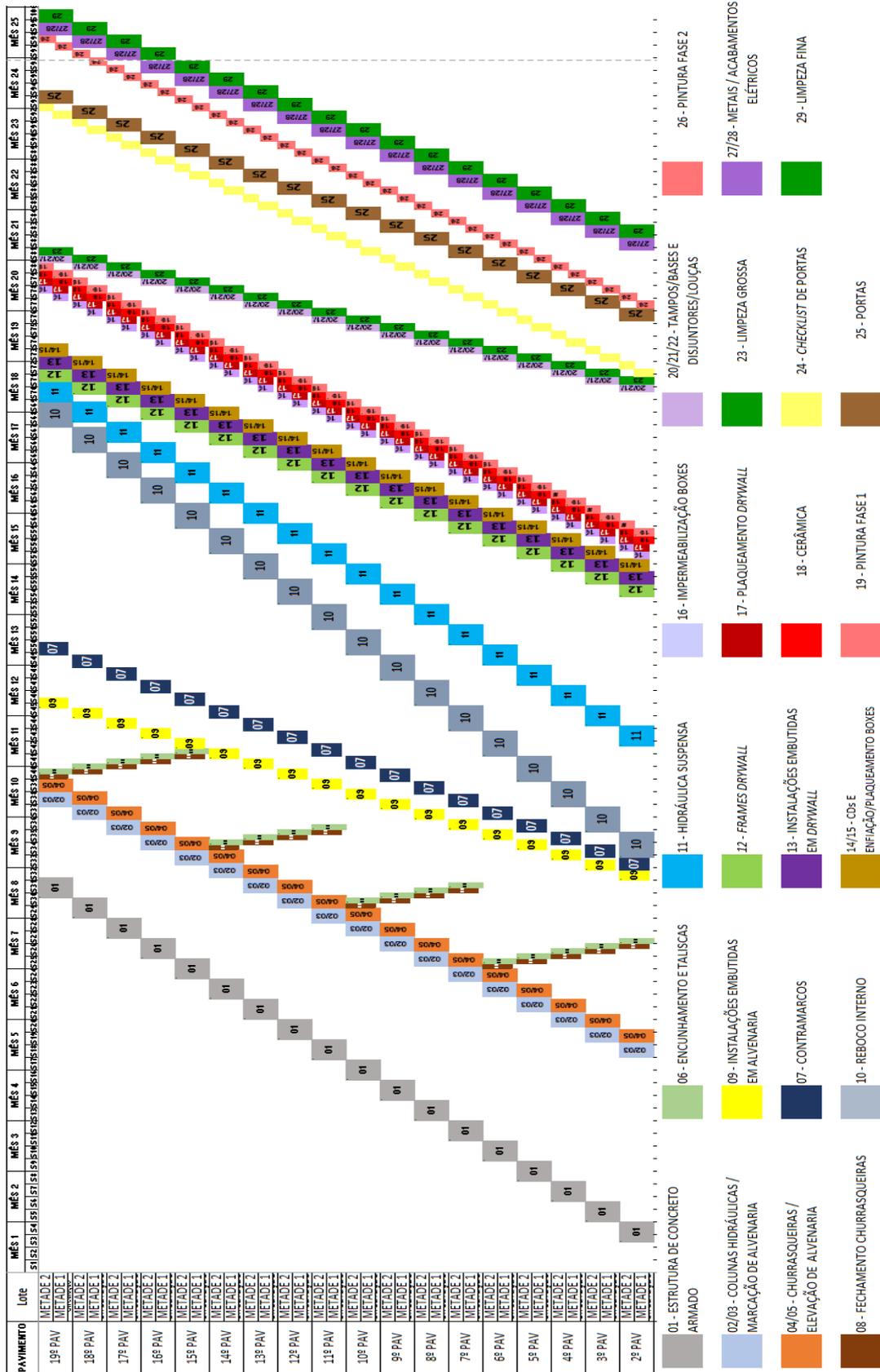
as ferramentas geradas fossem usadas futuramente para o controle da produção, de forma a identificar qual fluxo se assemelha mais ao real e a oportunizar análises que possam contribuir nas tomadas de decisão. Para a sequência do trabalho, o autor optou por seguir com a segunda LB (fluxos contínuos) e ajustá-la a partir das decisões tomadas nas próximas etapas do PSP, a partir do compartilhamento de equipes com zonas de trabalho diferentes da unidade base.

Figura 20 - Linha de balanço considerando precedências do cronograma executivo em elaboração.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 21 - Linha de balanço considerando fluxo contínuo das atividades.

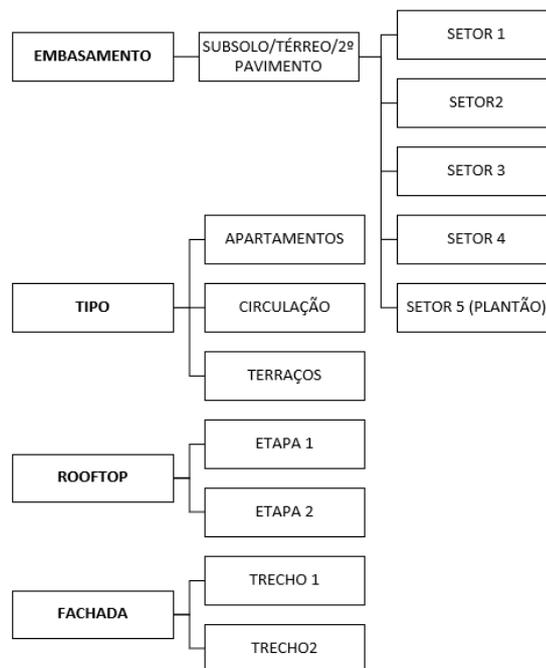


(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.4 Estudo dos Fluxos de Trabalho do Empreendimento e Estratégia de Produção

Após a definição das atividades, recursos e fluxos da unidade base desenvolveu-se a análise da estratégia a ser adotada para as demais zonas de trabalho do empreendimento. No momento do início do desenvolvimento dessa etapa do PSP, o engenheiro da obra já havia apresentado o plano de ataque do empreendimento. Na estratégia que já havia sido elaborada, a equipe de planejamento da empresa M e o engenheiro da obra zonaram o empreendimento conforme a Figura 22.

Figura 22 - Hierarquia de zonamento do plano de ataque inicial da obra em estudo.



(fonte: elaborada pelo autor)

Sendo assim, o autor buscou avaliar a estratégia já apresentada a partir de 3 cenários distintos e propor, caso julgasse necessário, revisões no plano de ataque. Esses cenários, apresentados no Quadro 2, foram solicitações do engenheiro tendo em vista a incerteza do atendimento dos empreiteiros quanto às necessidades de produção da obra.

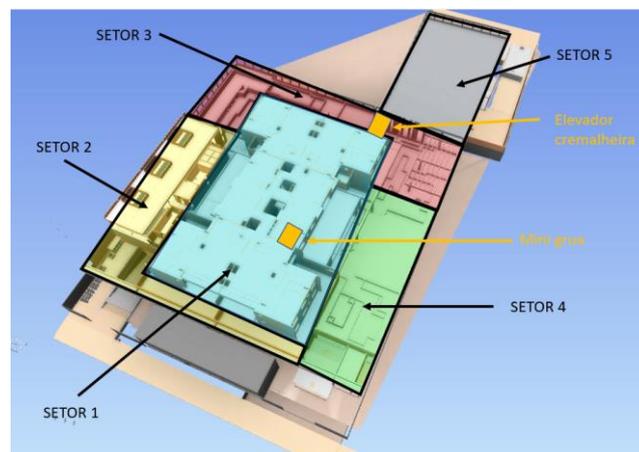
Quadro 2 - Cenários estudados para estratégia de execução do empreendimento.

CENÁRIO	DESCRIÇÃO	OBJETIVO
CENÁRIO 1	Execução da supra estrutura com 1 fornecedor.	Verificar impacto na sequência das demais atividades e propor alternativas para cumprimento do prazo global da obra (28 meses).
CENÁRIO 2	Execução da supra estrutura com 2 fornecedores.	
CENÁRIO 3	Execução do reboco externo da torre com 1 fornecedor.	
CENÁRIO 4	Execução do reboco externo da torre com 2 fornecedores.	

(fonte: elaborada pelo autor)

Para os cenários estudados, foram consideradas mais três premissas indicadas no plano de ataque inicial do empreendimento. A primeira era quanto aos equipamentos de transporte verticais a serem utilizados, esses deveriam ser o elevador cremalheira e a minigrua. A posição desses equipamentos também já estava definida (Figura 23), porém, como obra se encontrava em etapa de execução de contenções e fundações, o autor poderia propor novas localizações. Essas estavam diretamente vinculadas ao acesso principal de descarga, que pelo plano de ataque inicial seria na entrada do estacionamento do térreo e restringia a execução da laje do setor 4 no 2º pavimento.

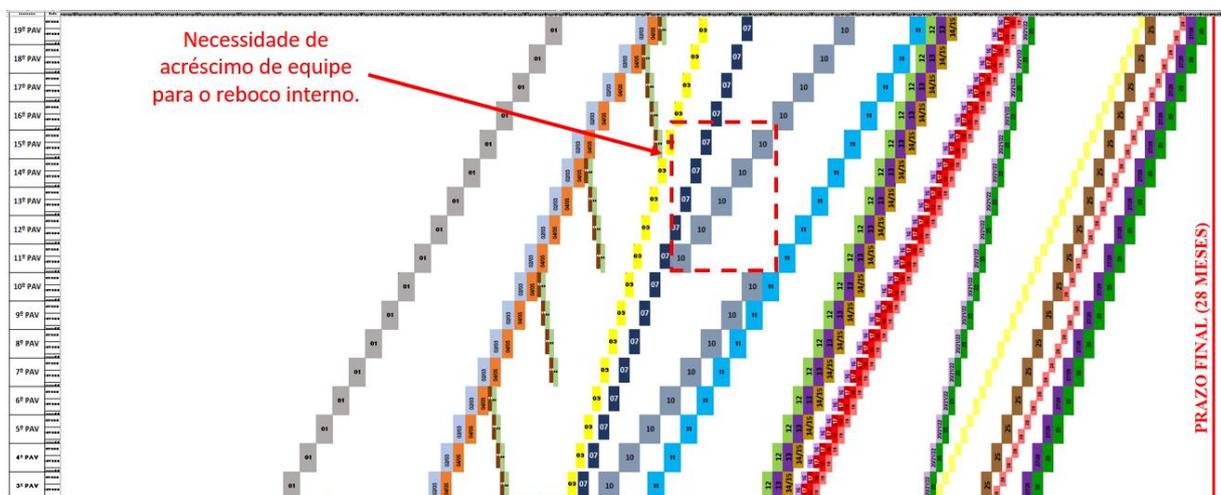
Figura 23 - Seção do modelo 3D com indicação do zoneamento do embasamento e posição de equipamentos de transporte vertical.



(fonte: elaborada pelo autor)

Nesse cenário, o prazo prolongado para execução da estrutura de concreto armado, em decorrência da necessidade de finalização completa da estrutura do embasamento, demandou que o fluxo da torre fosse alterado. Para cumprir-se o prazo de 28 meses, indicou-se a necessidade da inclusão de mais uma equipe para o reboco interno para executar 4 pavimentos da torre em paralelo com a primeira equipe (Figura 25). Esse acréscimo não necessariamente acarretaria na contratação de outro empreiteiro e a nova equipe poderia trabalhar, também, no embasamento e cobertura de forma que o serviço de reboco interno fosse concluído com mais brevidade em todo o empreendimento.

Figura 25 - Indicação do acréscimo de equipe para reboco interno na LB da unidade base.



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.4.2 Cenário 2 – Estrutura com 2 fornecedores

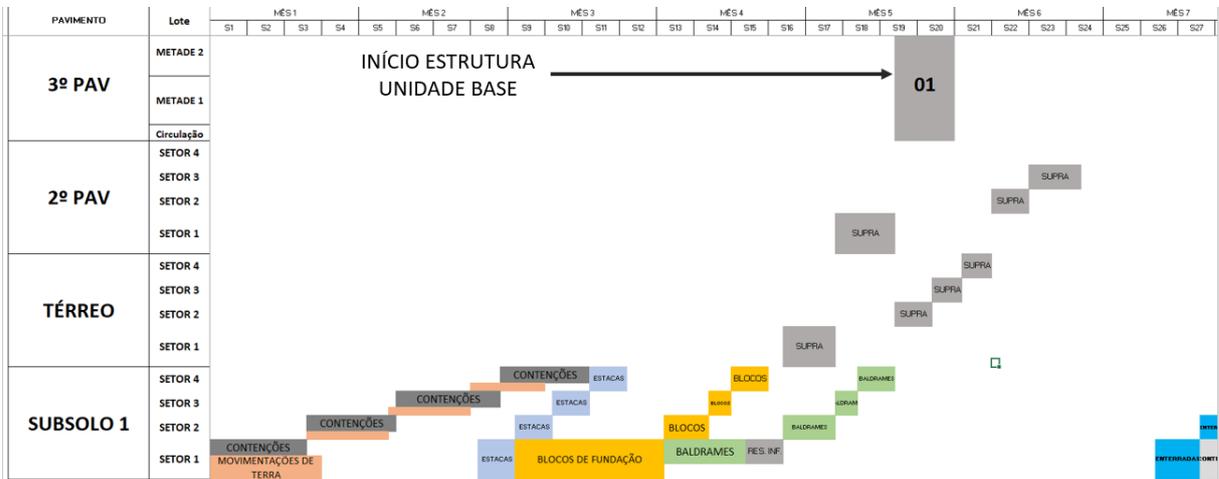
No cenário 2, foi analisada a execução da estrutura de concreto armado com 2 equipes distintas. De acordo com o engenheiro da obra, esse cenário é o que estava sendo previsto e já estava acordado com o empreiteiro do serviço. Entretanto, não existia confiança por parte da empresa M de que seria atendido integralmente tendo em vista histórico de outros empreendimentos executados pelo mesmo fornecedor. Sendo assim, o estudo do segundo cenário teve relevância para entender o impacto na estratégia geral do empreendimento e poder servir como argumento à diretoria caso fosse necessária a contratação de um outro empreiteiro.

Sendo assim, dividiu-se a execução da estrutura em “Periferia” e “Torre”. A periferia abrangia os setores 2, 3, 4 e 5 (plantão de vendas), e o Setor 1 representava a projeção da Torre. A partir disso, lançou-se a linha de balanço e estimou-se um adiantamento de 2 meses em relação ao

cenário 1 (Figura 26), o que permitiu que o fluxo da linha de balanço da unidade base não fosse alterado. Ou seja, não foi necessário acréscimo de equipes para sincronização das atividades dos pavimentos tipo e cobertura.

Além disso, estabeleceu-se uma folga de 3 semanas entre a finalização das esquadrias e o início da instalação de portas. Essa folga tem grande importância tendo em vista os recentes problemas que a empresa M teve com o fornecimento de esquadrias nos prazos estipulados durante a construção de outros de seus empreendimentos.

Figura 26 - Recorte da linha de balanço do empreendimento entre as semanas 1 e 27 para o cenário 2.



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.4.3 Cenários 3 e 4 – Reboco externo com 1 e 2 fornecedores

A obra em estudo tinha como meta a execução do reboco externo em 80 dias. Dessa forma, existia a preocupação da empresa se seria possível concluir-se o serviço no prazo estipulado com um único empreiteiro. Entretanto, o autor não pôde utilizar-se de dados atualizados quanto à produtividade desse serviço pois a empresa M ainda não tinha certeza da tecnologia que seria utilizada para execução. Em empreendimentos recentes vinha-se utilizando equipamento de projeção de argamassa para execução do reboco externo, porém ocorreram casos de patologia que ainda não haviam sido investigados suficientemente e deixaram a empresa com desconfiança quanto à utilização do mesmo.

Sendo assim, o autor buscou, primeiramente, definir as posições dos panos de trabalho da fachada para estipular em quantas etapas o serviço poderia ser executado. Logo após, estipulou-se o número de dias que seriam utilizados para preparação dos panos de fachada em 25 dias e a produtividade média do reboco manual em 12 m²/dia e do projetado em 40 m²/dia. Assim, dividiu-se a área de cada etapa pelo número de dias disponíveis para execução do reboco e chegou-se a um valor de produtividade em m²/dia que, dividido pela produtividade estimada, gerou o número de equipes necessárias para execução de cada etapa. Por experiência de outras obras executadas pela empresa M, definiu-se que o número máximo de equipes que um mesmo fornecedor conseguiria disponibilizar seria 6 para o reboco manual e 4 para o projetado. Portanto, percebe-se pela Tabela 1 que o reboco externo com um único fornecedor apenas seria possível com o reboco projetado.

Tabela 3 - Tabela de cálculo estimativo do número de equipes necessárias para execução do reboco externo.

ETAPA	ÁREA	Dias	Produtividade necessária	Estimada por equipe (manual)	Estimada por equipe (projetado)	Número de equipes (manual)	Número de equipes
Etapa 1	1185,51 m ²	11	107,77 m ² /dia	12,00 m ² /dia	40,00 m ² /dia	9	3
Etapa 2	1688,27 m ²	11	153,48 m ² /dia	12,00 m ² /dia	40,00 m ² /dia	13	4
Etapa 3	1087,95 m ²	11	98,90 m ² /dia	12,00 m ² /dia	40,00 m ² /dia	8	2
Etapa 4	1383,77 m ²	11	125,80 m ² /dia	12,00 m ² /dia	40,00 m ² /dia	10	3
Etapa 5	1048,59 m ²	11	95,33 m ² /dia	12,00 m ² /dia	40,00 m ² /dia	8	2

(fonte: elaborada pelo autor)

Como a empresa M não detinha de dados consolidados quanto à produtividade média das equipes de reboco externo, essas informações deveriam ser atualizadas quando da definição dos empreiteiros para maior assertividade. Entretanto, o cenário com 2 equipes se mostrou favorável, também, pela possibilidade de execução de outros setores em paralelo à torre.

5.2.5 Definição da Estratégia, Modelagem e Simulação 4D

Após a análise dos cenários, definiu-se que a obra consideraria inicialmente 2 fornecedores tanto para estrutura, quanto para o reboco externo. Essa escolha se deu em decorrência de já ser o plano traçado pela equipe de planejamento e garantir maior segurança para o cumprimento dos prazos, tendo em vista que com apenas um empreiteiro corria-se o risco do mal atendimento às datas previstas e a obra ficaria sem equipe alternativa para produção. Entretanto, no momento que o estudo foi realizado não haviam sido iniciadas as negociações para contratação desses empreiteiros. Desta forma, a análise dos cenários poderia ainda ser utilizadas futuramente como

alternativa caso as contratações conforme plano definido, por algum motivo, não viessem a acontecer.

Com isso, a próxima etapa da elaboração do PSP foi a modelagem 4D do empreendimento. Nessa fase, o autor buscou avaliar o plano de ataque que já havia sido elaborado pelo engenheiro da obra e propor soluções alternativas para a sequência das atividades. Sendo assim, e em decorrência dos serviços de contenções e escavações já estarem sendo executados, a modelagem 4D teve enfoque nas atividades que se iniciariam a partir dos blocos de fundações.

A empresa M contava com um fluxo de elaboração de projetos em BIM e isso possibilitou que não fosse necessária a modelagem 3D das disciplinas de projeto. Ademais, o setor responsável pela gestão e compatibilização dos projetos já possuía um modelo federado no *software* Navisworks com todos os projetos, o que eliminou a necessidade da vinculação dos mesmos.

Para a vinculação do planejamento ao software 4D foi utilizado o cronograma executivo que estava em elaboração pela equipe de planejamento da empresa M e que foi ajustado pelo autor a partir da linha de balanço desenvolvida. Esse cronograma tinha como base o plano de ataque da obra e não estava completamente consolidado quando da utilização pelo autor. A partir disso, o autor seguiu o seguinte passo a passo para modelagem 4D do empreendimento:

Passo 1 – Importação do arquivo do cronograma executivo em formato .mpp para o *Timeliner*;

Passo 2 – Exportação das tarefas do *Timeliner* como sets de seleção;

Passo 3 – Atualização dos sets de seleção com a inclusão dos elementos do modelo 3D;

Passo 4 – Vinculação dos sets às tarefas do *Timeliner* e inserção do tipo de tarefa (*Construct*, *Temporary* ou *Demolish*);

Passo 5 – Simulação 4D do empreendimento e;

Passo 6 – Elaboração de animações das movimentações de materiais e equipamentos.

Durante a modelagem, percebeu-se grande dificuldade para vinculação dos elementos 3D aos sets de seleção em decorrência da não conformidade entre modelos quanto às propriedades básicas que deveriam ser comuns aos elementos (tipos, famílias, níveis, sistemas, etc). Sendo assim, não foi possível realizar buscas por propriedades, o que tornou o trabalho de seleção extremamente manual e impossibilitou a atualização dos modelos 3D, uma vez que, ao

atualizar-se o modelo de alguma disciplina, perdiam-se os elementos selecionados manualmente na revisão anterior do arquivo. Desta forma, a análise de diferentes cenários para o sistema produtivo se torna muito mais trabalhoso, tendo em vista a falta de automatização e compatibilidade do fluxo de planejamento com a elaboração dos projetos em BIM. Com um modelo que fosse elaborado direcionado, também, ao uso do planejamento de obra, se teria uma ferramenta poderosa para melhorar a eficiência e a qualidade do projeto, reduzindo erros e retrabalho, otimizando o uso de recursos e melhorando o desempenho da construção como um todo.

Particularmente, o modelo 3D da disciplina de Estrutura foi o que apresentou maiores limitações à modelagem 4D. Como o plano de ataque do empreendimento foi realizado após emissão do projeto executivo de estrutura, os elementos não continham informação de qual setor pertenciam. Além disso, o zoneamento elaborado pela empresa M não condizia completamente com a geometria da estrutura, o que fez com que trechos de alguns elementos fossem adicionados a um setor diferente durante a modelagem 4D. O autor optou por não alterar os modelos 3D para adequar ao zoneamento, pois o estudo tinha a intenção de se aproximar ao processo de planejamento que já é praticado na empresa M e a mesma não possuía pessoal capacitado para edição dos modelos 3D. Alternativamente, poderia ser solicitado a edição pelo projetista, entretanto o projeto já estava entregue e o mesmo consideraria retrabalho. Isso geraria custo e tempo de elaboração não previstos pela a contratante.

Desta forma, durante a modelagem 4D o autor pôde confirmar a necessidade da elaboração da estratégia de produção ainda na fase de elaboração de projetos. O plano de ataque, se realizado durante a etapa de desenvolvimento de projetos, poderia sugerir adequações nos mesmos e inclusões de informações de forma a otimizar o sistema produtivo. No próximo tópico discutido no trabalho, inclusive, foram observadas necessidades de aberturas em estrutura, execução de trechos em diferentes etapas e zonas com carga elevada devido à estoque de materiais pesados que poderiam ser solucionadas muito antes das emissões de projeto executivo, caso a estratégia de produção fosse avaliada anteriormente.

5.2.6 Análise do Plano de Ataque com Modelagem 4D

A partir da modelagem 4D, foi possível avaliar o plano previsto para o empreendimento quanto ao sequenciamento de atividades, espaços de estoque, fluxos de recebimento de material e

movimentações de máquinas e equipamentos. Com isso, o autor pôde sugerir novas soluções para os problemas logísticos identificados. O Quadro 3 resume algumas das situações identificadas durante a simulação 4D e que demandaram ações de correção do planejamento da obra em questão. O enfoque da modelagem 4D foram as atividades que se relacionavam com a estrutura, cobertura, alvenaria e fachada, pois envolviam questões logísticas particulares que impactariam significativamente na produtividade das diversas equipes da obra.

Quadro 3 - Resumo da análise da estratégia do empreendimento com uso do BIM 4D.

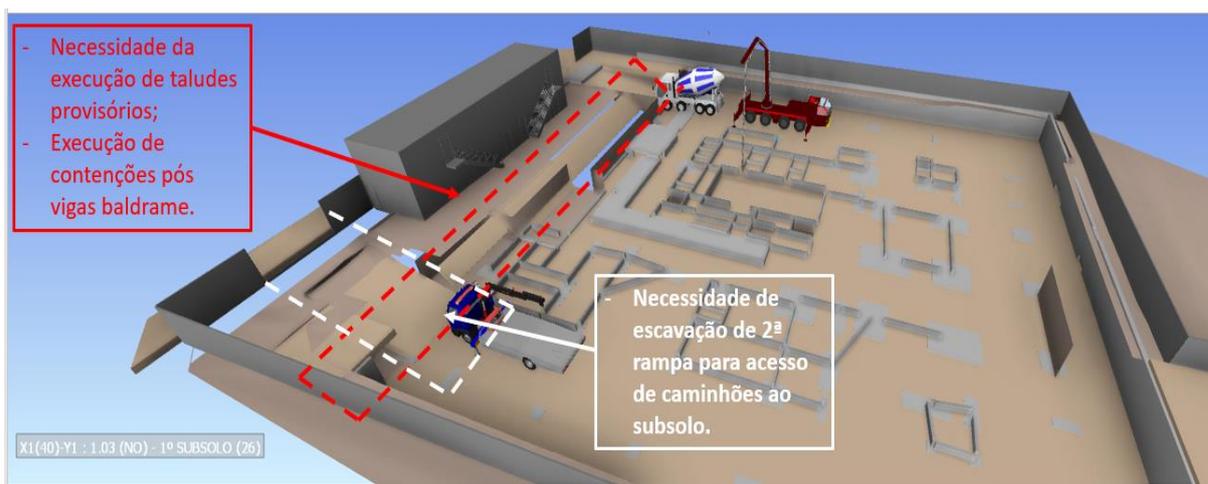
Setor	Atividade	Análise 4D	Ação/Ponto de atenção
Setor 1	Blocos de fundação	Esacavação de taludes próximos à engenharia devido à existência de estacas e blocos na região.	Projetar sistema de segurança para circulação de pessoas até a engenharia.
Setor 1	Vigas de baldrame	Execução em paralelo, avaliar concretagem única com caminhões posicionados no setor 4 (rampa de acesso 2).	Execução de rampa de acesso 2 provisória ao subsolo.
Setor 2	Blocos de fundação		
Setor 3	Blocos de fundação		
Setor 1	Contenções	Atividade deve acontecer antes da laje do Térreo. Planejada execução em paralelo.	Reprogramar contenções como precedente das lajes do Térreo. Criar tarefa de aterramento do trecho entre instalações provisórias e as cortinas.
Setores 2 e 4	Estrutura	Posição dos caminhões de concretagem podem interferir na via pública.	Contatar órgão público para autorização de intervenção.
Setor 2	Estrutura	Viga em concreto aparente planejada em duas etapas, o que pode interferir no aspecto visual do elemento. Impacto direto com as instalações provisórias.	Replanejar estrutura do Setor 2. Possibilidade de execução junto à laje do Térreo do Setor 5.
Setor 4	Estrutura Embasamento / Atividades tipo	Durante execução do Setor 04 no 2º pavimento o abastecimento de materiais deverá acontecer pelo Setor 01.	Instalações provisórias devem ser transferidas de local antes do início da estrutura do Setor 4 no 2º pvto e deve ser criado outro portão de acesso de veículos.
Setores 4 e 5	Alvenaria	Tarefa de elevação de alvenaria do 2º pavimento com nível hierárquico de zoneamento por pavimento. Isso faz com a alvenaria dos Setores 4 e 5 estejam acontecendo anteriormente à estrutura.	Setonizar as atividades de elevação do embasamento de acordo com o zoneamento da estrutura (Setores 1,2,3,4 e 5).
Cobertura e Setor 4	Impermeabilização	Impermeabilização da cobertura e do Setor 4 no 2º pavimento acontecendo em paralelo. Necessidade de incremento de equipe para não atrasar o início da fachada.	Programar junto ao fornecedor incremento da equipe.
Setor 1	Minigrua	Planejada instalação da minigrua pós concretagem do Setor 4. Necessidade de transporte vertical a partir do 3º pavimento, que acontece antes do Setor 4 Térreo.	Replanejar entrada da minigrua de forma a atender demanda do Setor 1.

(fonte: elaborada pelo autor)

Pôde-se verificar um melhor entendimento da equipe de engenharia quanto ao sequenciamento de atividades e oportunidades de melhoria do plano em decorrência de interfaces que anteriormente não haviam sido visualizadas no planejamento via *Microsoft Project*. Nas figuras

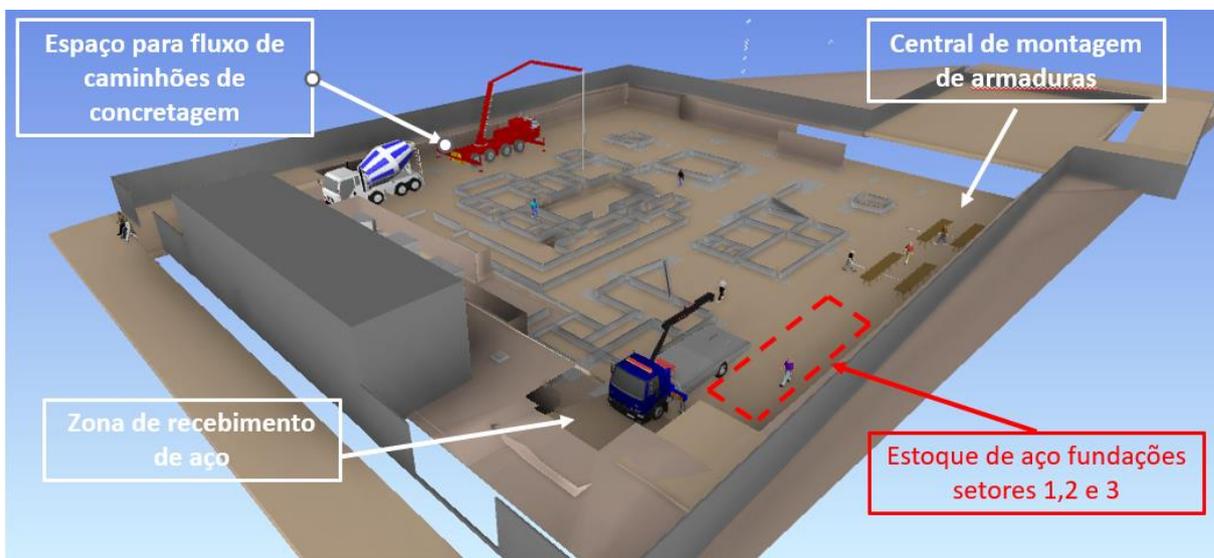
abaixo estão expostas algumas das interferências encontradas durante a simulação 4D e pontos de atenção à equipe da obra. Nas figuras 27 e 28, pode-se visualizar a utilização do modelo para identificação do correto sequenciamento das atividades, obras provisórias, fluxos de caminhões e zonas de trabalho durante a execução das vigas de baldrame.

Figura 27 - Simulação 4D: serviço de concretagem das vigas baldrames do setor 1.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 28 - Simulação 4D do serviço de concretagem e montagem das vigas baldrames e blocos de fundação do setor 1,2 e 3.

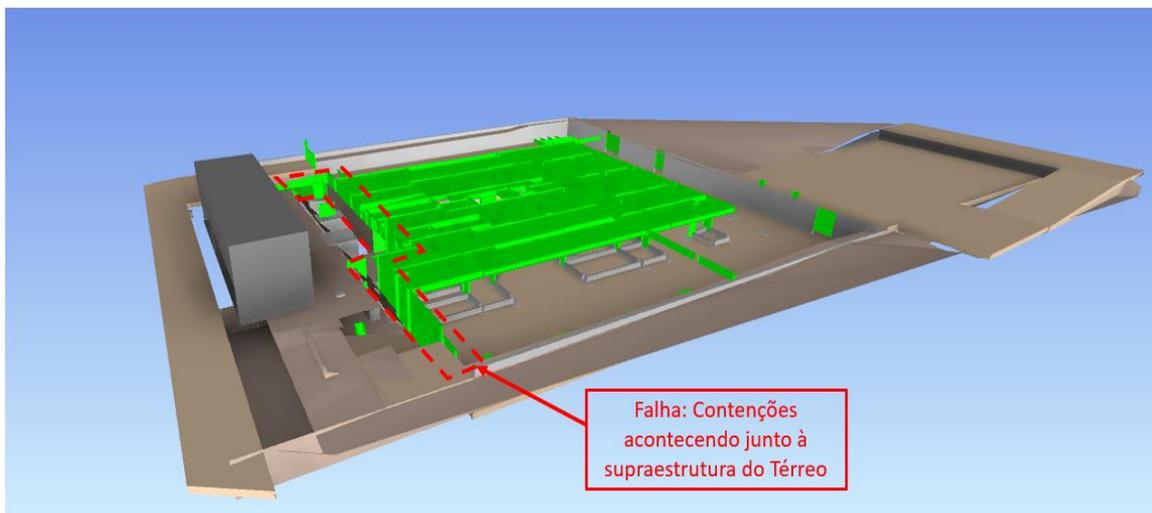


(fonte: elaborada pelo autor)

A Figura 29 exemplifica a identificação de falha no sequenciamento da estrutura, onde foi verificado que as contenções do subsolo ocorreriam em paralelo à laje do Térreo. Dessa forma pôde-se ajustar o período de início e a relação de precedência entre as atividades no cronograma.

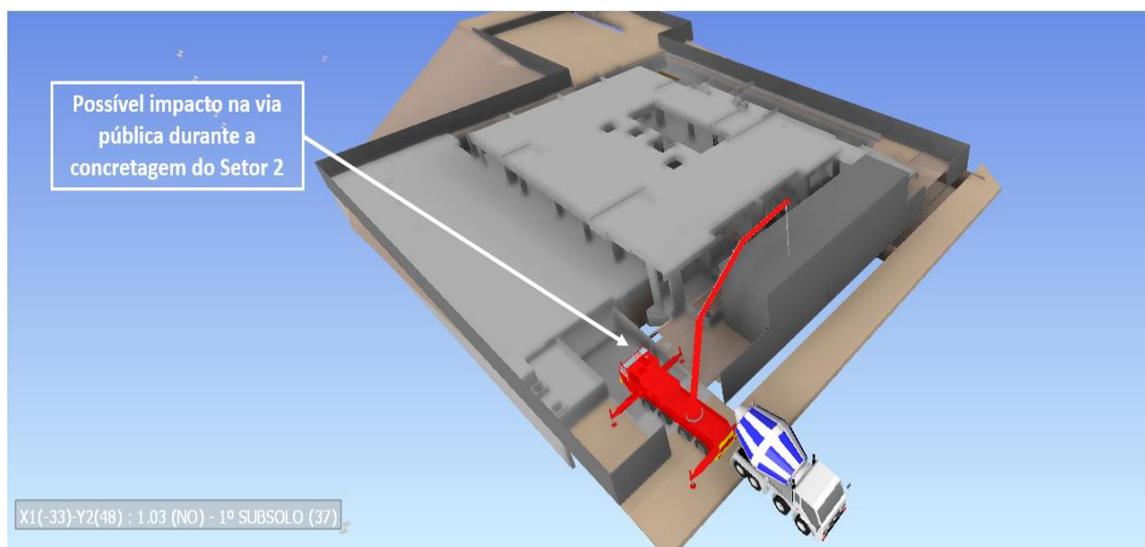
Já a Figura 30 expõe a identificação de restrição da posição do caminhão bomba de concreto e betoneira quanto ao uso da via pública como zona de manobra e descarga.

Figura 29 - Simulação 4D da estrutura: Falha no sequenciamento das atividades de contenções e lajes Setor 1 nível Térreo.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 30 - Simulação 4D da estrutura: identificação de impacto dos caminhões na via pública durante a concretagem do Setor 2.

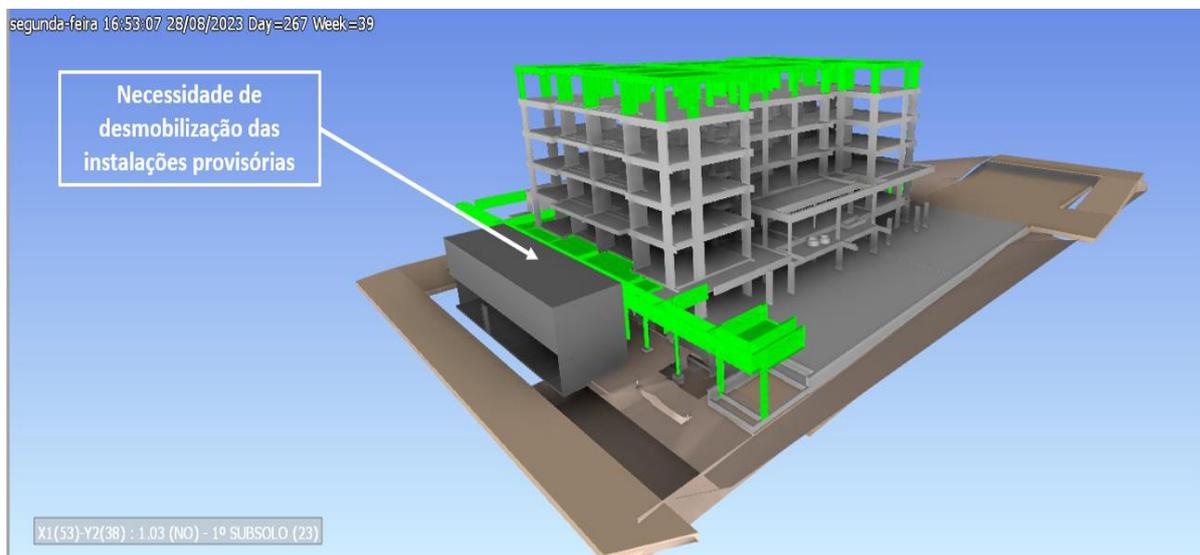


(fonte: elaborada pelo autor)

A Figura 31 exibe momento da simulação onde pôde-se identificar restrição ao início da atividade do serviço de estrutura do Setor 02. Verificou-se que, para o início do serviço, as

instalações provisórias deveriam ser desmobilizadas, ajustando-se, assim, a relação de precedência de atividades no cronograma executivo.

Figura 31 - Simulação 4D da estrutura: identificação de impacto das instalações provisórias na execução do Setor 2.



(fonte: elaborada pelo autor)

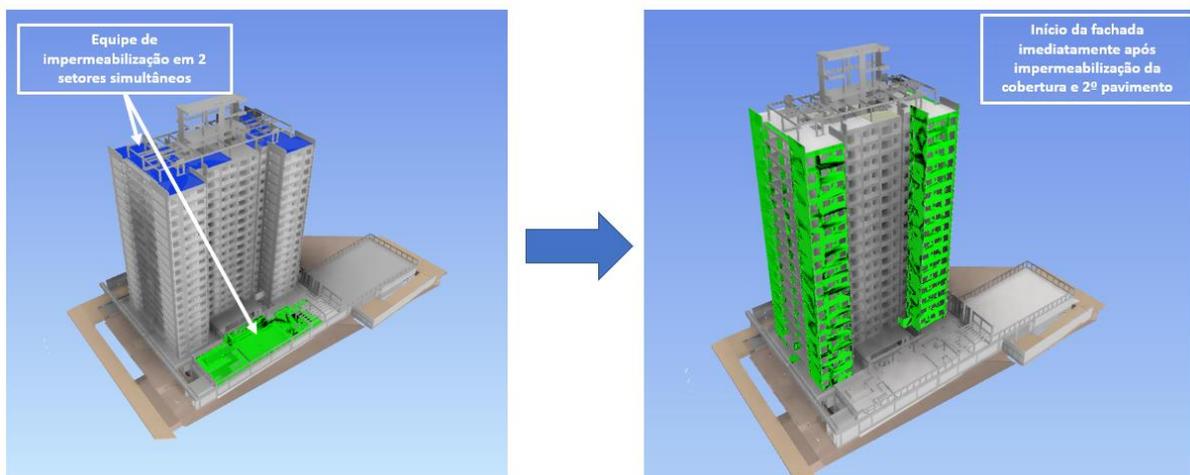
A Figura 32 exemplifica o uso da simulação 4D para a análise do fluxo de materiais e posição das zonas de estoque do empreendimento. Já a Figura 33 expõe a relação sequencial entre as atividades da cobertura e de fachada, identificando-se um período crítico de desenvolvimento de atividades produtivas da obra.

Figura 32 - Simulação 4D: Identificação do fluxo de recebimento de materiais e estoque de blocos de alvenaria.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 33 - Simulação 4D: Identificação do fluxo de recebimento de materiais e estoque de blocos de alvenaria.



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.7 Layout de canteiro

Para a definição do layout do canteiro o autor modelou os tapumes do limite do terreno e as instalações provisórias. A posição das instalações provisórias já estava definida e executada quando do início da análise 4D, portanto o autor se preocupou em verificar interfaces desse espaço com os serviços executados. Além disso, a empresa possuía projeto padrão para os contêineres que seriam utilizados, pois esses eram de propriedade da própria empresa e não alugados. Sendo assim, os locais de vestiários, almoxarifado, refeitório e escritórios eram pré-definidos de acordo com esse projeto. Como já apresentado na Figura 30, foi possível identificar a necessidade de desmobilização dos contêineres utilizados quando da necessidade de execução da estrutura de concreto de trecho do Setor 2.

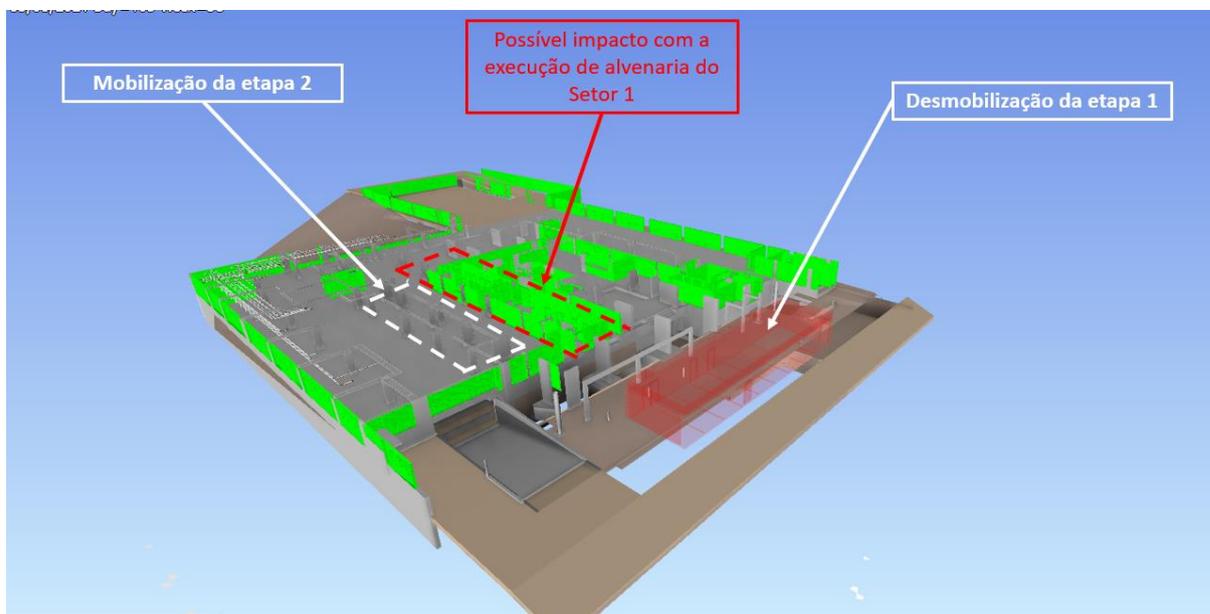
Sendo assim, foram indicadas duas etapas para as instalações, conforme apresentado as Figuras 34 e 35. Para a localização da segunda etapa, optou-se por posicionar os espaços no Setor 2 do Térreo. Essa escolha foi justificada pela baixa interferência do local com a execução de determinados serviços, principalmente os que envolviam instalações hidráulicas por impactar diretamente na impermeabilização do 2º pavimento. Com a modelagem 4D, foi possível identificar que a alvenaria do pavimento térreo estaria em execução durante a desmobilização das instalações no setor 1 e mobilização no setor 2. Sendo assim, o autor sugeriu que a alvenaria do térreo também fosse executada por setores, podendo-se iniciar o serviço pela zona que ocuparia as instalações.

Figura 34 - Vista 3D da segunda etapa de mobilização das instalações provisórias.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 35 - Simulação 4D: Seção horizontal do nível térreo com identificação das etapas de mobilização das provisórias de obra.

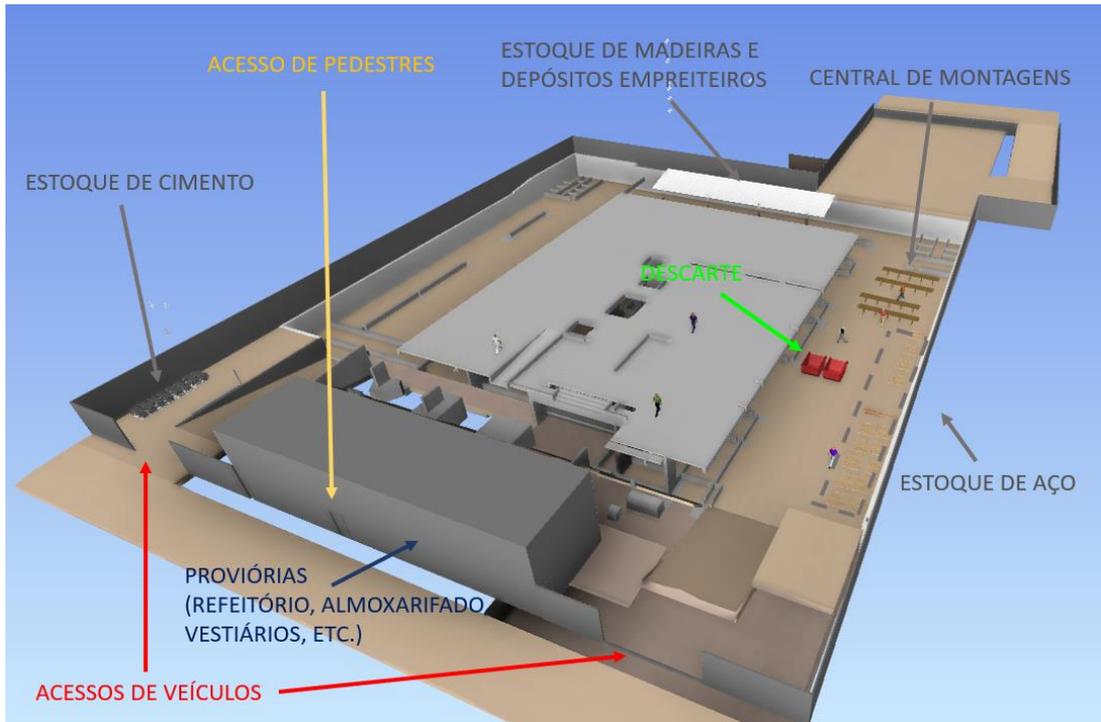


(fonte: elaborada pelo autor)

Quanto aos locais de estoque e descarte de matérias do empreendimento, verificou-se a que anteriormente à finalização da estrutura do térreo essas regiões sofrem constantes alterações em decorrência da interface direta com a setorização da execução da estrutura. Essa variação de layout ocorreria quando da etapa 1 de mobilização das instalações provisórias, enquanto na etapa 2 já seria possível estabelecer um layout fixo. O autor, dessa forma, representou dois layouts indicativos para as atividades antecedentes à conclusão da estrutura, conforme as Figuras 36 e 39, e posteriormente um layout definitivo considerando a etapa 2 de mobilização das provisórias.

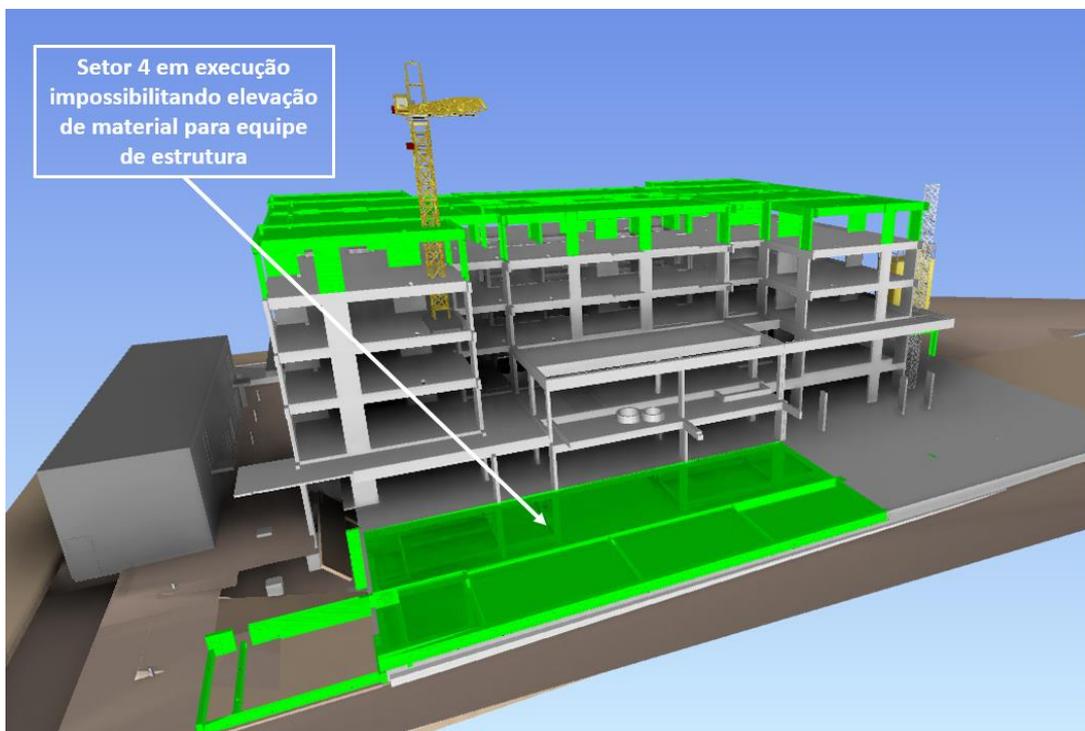
Com o modelo 4D, foi possível identificar que a posição da mini grua conforme proposto pelo plano de ataque inicial acarretaria na impossibilidade de seu uso durante a execução do 4º pavimento ao 7º pavimento, pois a laje do térreo do Setor 4 estaria em execução. Sendo assim, foi proposta a alteração do local do equipamento de movimentação vertical conforme Figuras 37 e 38.

Figura 36 - Layout do canteiro durante a execução da supra estrutura do Térreo.



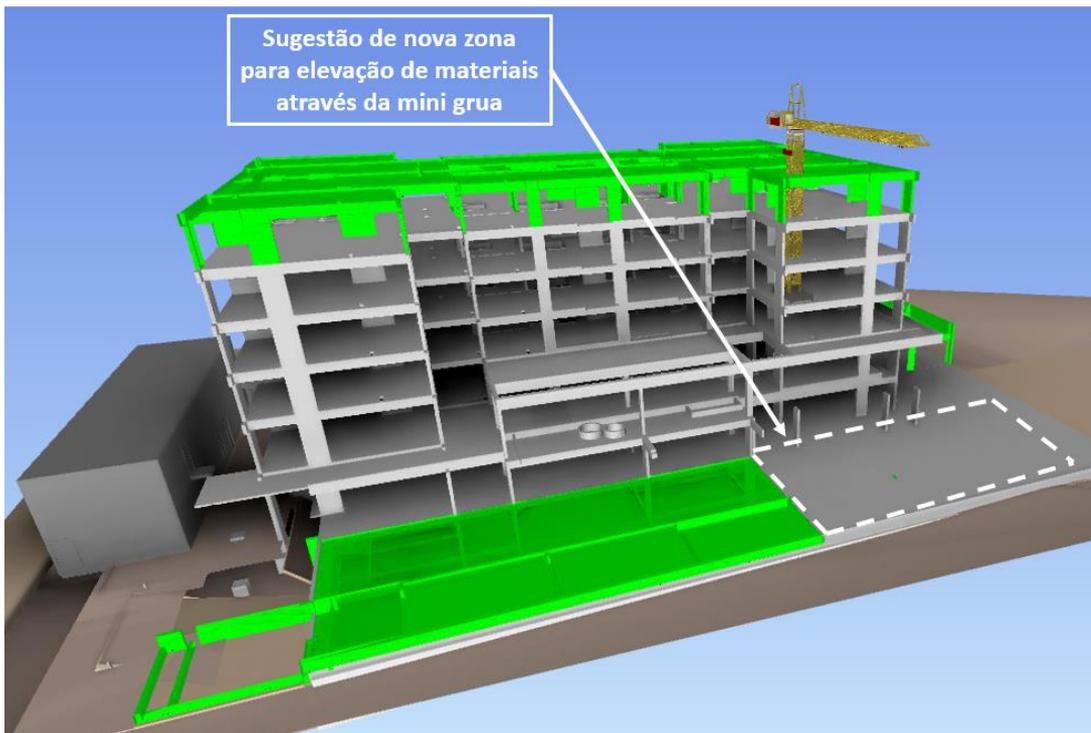
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 37 - Simulação 4D: Identificação de conflito entre posição da mini grua e execução da laje térrea do Setor 4.



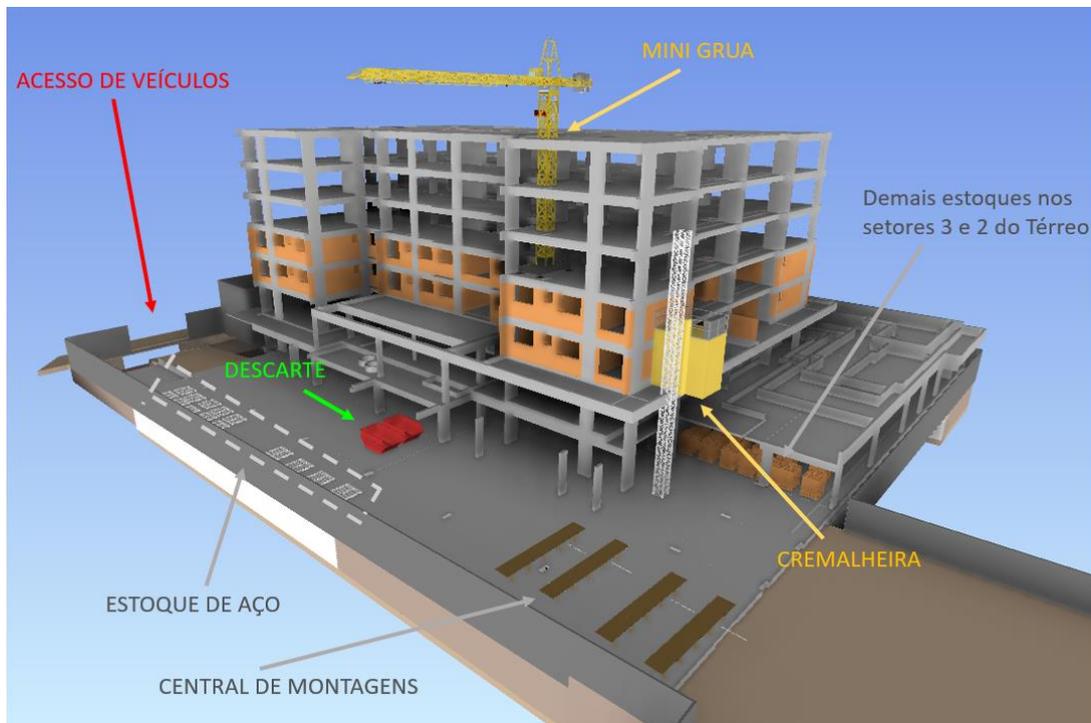
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 38 - Simulação 4D: sugestão de novo posicionamento para mini grua.



(fonte: elaborada pelo autor)

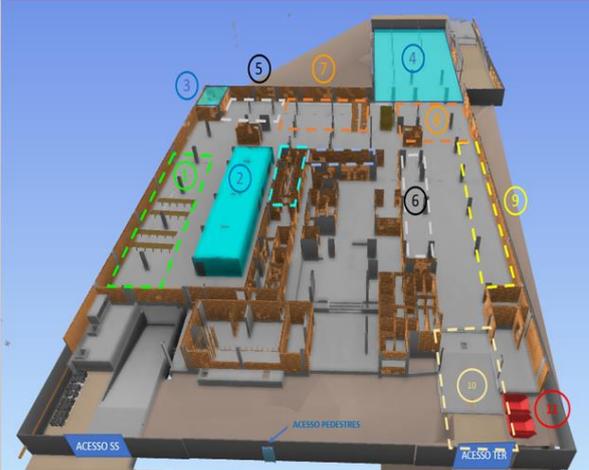
Figura 39 - Layout do canteiro durante a execução da estrutura e alvenaria da torre.



(fonte: elaborada pelo autor)

A partir da alteração da localização da mini grua, consolidou-se um layout definitivo para o canteiro (Figura 40). Considerando que uma das diretrizes da empresa era da não utilização do 2º pavimento como estoque, foi indicado apenas o pavimento térreo como região para estoques de grandes quantidades de materiais como blocos de alvenaria, sacos de cimento e argamassa, tubulações de PVC, entre outros. Indicaram-se zonas de apoio à descarga de matérias, para agilizar o processo de recebimento, e ao elevador cremalheira, para organizar o fluxo de alimentação de materiais às zonas de trabalho. Além dessas, estão indicadas na Figura 39 as demais áreas do *layout* proposto.

Figura 40 - Layout de canteiro para etapa 2 das instalações provisórias.



CÓD	DESCRIÇÃO	ESTOQUE
1	REFEITÓRIO	-
2	ESCRITÓRIO/VESTIÁRIOS	-
3	ESTOQUE ELÉTRICA	FIOS DE COBRE / PROTEÇÕES
4	ALMOXARIFADO	MATERIAS HIDRÁULICOS/ELÉTRICOS/FERRAMENTAS/ GERAIS
5	ESTOQUE ARGAMASSAS	ARGAMASSAS PARA REBOCO/CHAPISCO/CONTRAPISO
6	ESTOQUE ARGAMASSAS	ARGAMASSAS PARA ASSENTAMENTO/ REBOCO/CHAPISCO/CONTRAPISO
7	APOIO CREMALHEIRA	PALETES DE BLOCOS CERÂMICOS/CERÂMICAS/PEDRAS/CONTRAMARCOS/ESQUADRIAS
8	APOIO CREMALHEIRA	PALETES DE BLOCOS CERÂMICOS/CERÂMICAS/PEDRAS/CONTRAMARCOS/ESQUADRIAS
9	APOIO DESCARGA	ZONA DE TRANSIÇÃO (NÃO ESTOCAGEM)
10	ÁREA DE DESCARGA	ZONA DE TRANSIÇÃO (NÃO ESTOCAGEM)
11	DESCARTE DE MATERIAS	MATERIAS DESCARTADOS
12	APOIO DESCARGA	ZONA DE TRANSIÇÃO (NÃO ESTOCAGEM)
13	DESCARTE DE MATERIAS	MATERIAS DESCARTADOS
14	ÁREA DECARGA/DESCARGA	-

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2.8 Identificação e Projeto de Processo Crítico

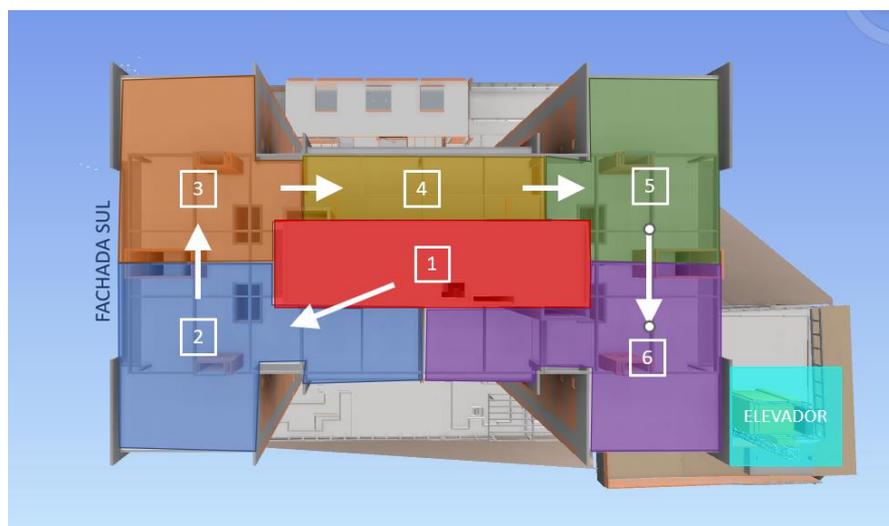
De acordo com Schramm (2004), ao identificar e projetar um processo crítico, é importante focar nas atividades que limitam (gargalos) ou podem causar a limitação (processos com restrição de capacidade) na produção. O autor identificou que uma área específica de produção, a cobertura, representa um gargalo para todas as outras etapas do empreendimento. As atividades que ocorrem entre a concretagem da laje e a conclusão da impermeabilização afetam diretamente a sequência do empreendimento, já que o início dos revestimentos de fachada depende da conclusão dessa área. Sendo assim, o autor elaborou o planejamento dessa etapa visando definir etapas de operação, sequência executiva e alocação de recursos.

5.2.8.1 Estudo de *layout* e de capacidade de processo

O projeto de processo crítico em questão é um desafio complexo, pois envolve a realização de múltiplas atividades em uma mesma zona de produção. Para enfrentar esse desafio, o estudo de *layout* adotou uma abordagem minuciosa e detalhada, a fim de identificar os fluxos de abastecimento de materiais e as movimentações das equipes na zona de trabalho. Com essa abordagem, o projeto de processo crítico buscou uma maior eficiência e produtividade na zona de produção, reduzindo os tempos de espera e minimizando os riscos de atrasos ou interrupções no fluxo de trabalho. Além disso, a análise detalhada do fluxo de trabalho permite que os gestores tomem decisões mais informadas e estratégicas, a fim de melhorar a qualidade dos produtos e aumentar a satisfação do cliente.

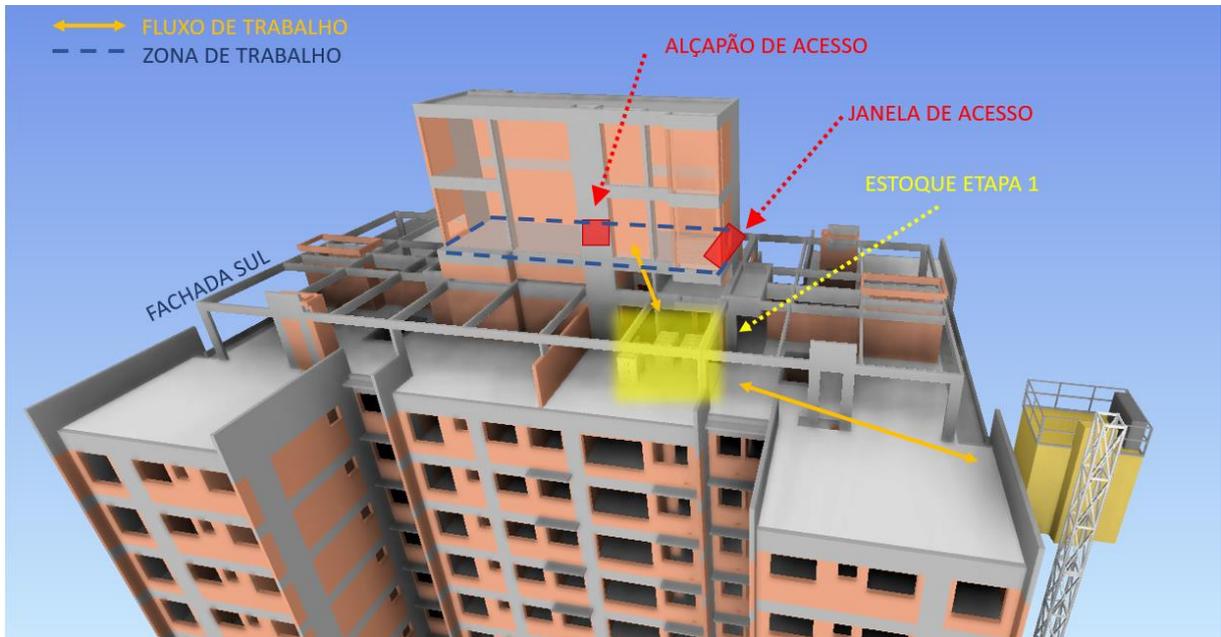
Desta forma, o autor pôde identificar que as atividades deveriam acontecer em diferentes etapas para viabilizar a movimentação dos materiais e trabalhadores dentro da zona de trabalho, que apresentava diversos obstáculos (Figuras 41 a 47). Com isso, diminuí-se os lotes de produção de forma a garantir a continuidade das atividades e a redução do trabalho em progresso. O fluxo de execução das atividades está representado nas figuras a seguir, representando 6 etapas para cada atividade que viessem a acontecer na cobertura após a conclusão da estrutura de concreto armado, cada etapa com seu *layout*. A zona com maior grau de criticidade é a da sala dos reservatórios (zona 1), pois possui um número maior de atividades a serem executadas e maior complexidade logística. Aspectos dessa complexidade foram tratados no item 5.2.7.2.

Figura 41 – Indicação das zonas de trabalho da cobertura.



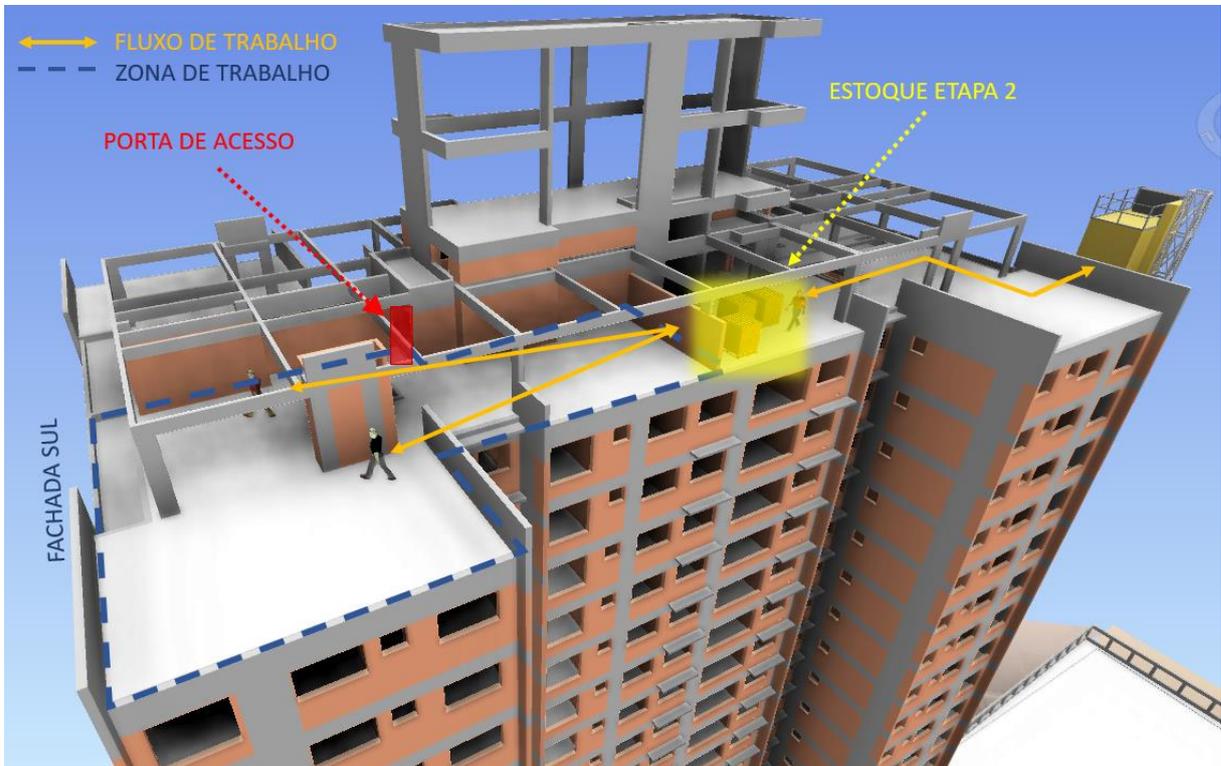
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 42 - Etapa 1 das atividades da cobertura.



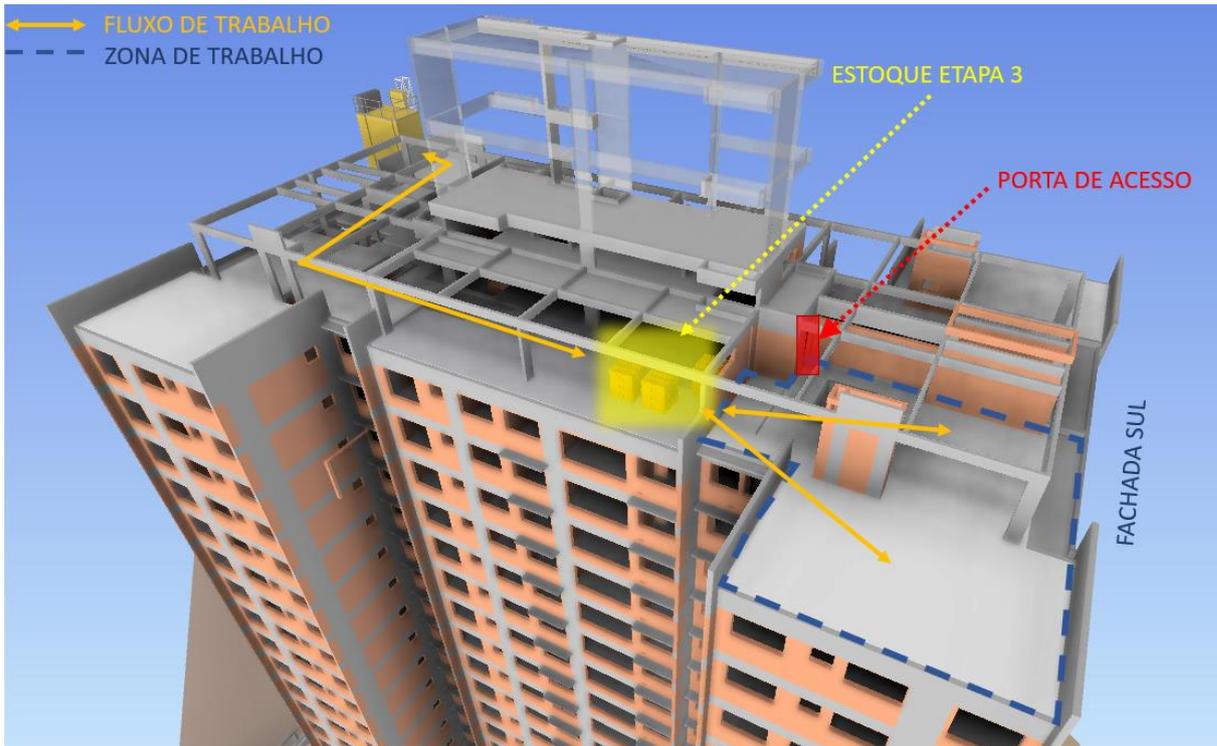
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 43 - Etapa 2 das atividades da cobertura.



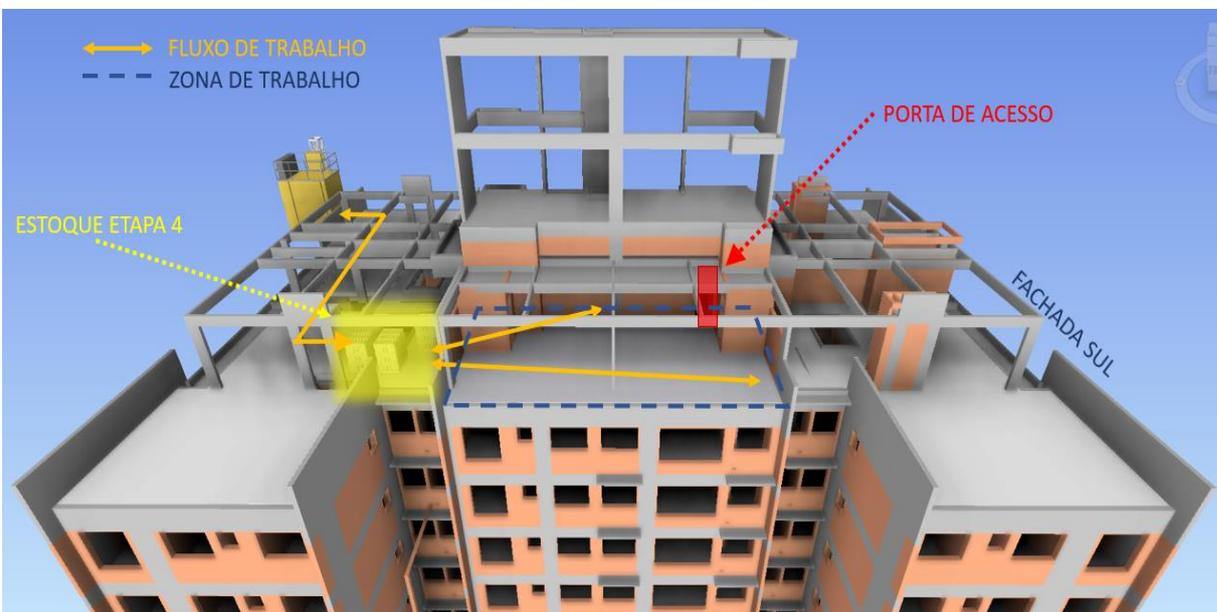
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 44 - Etapa 3 das atividades da cobertura.



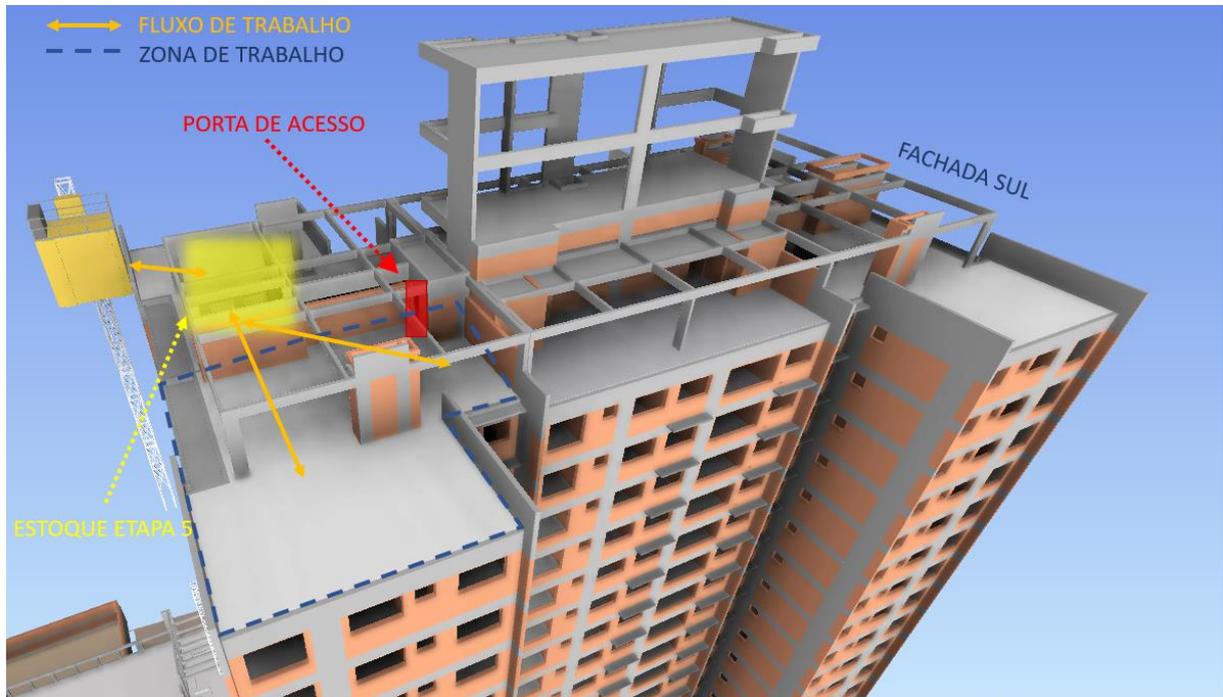
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 45 - Etapa 4 das atividades da cobertura.



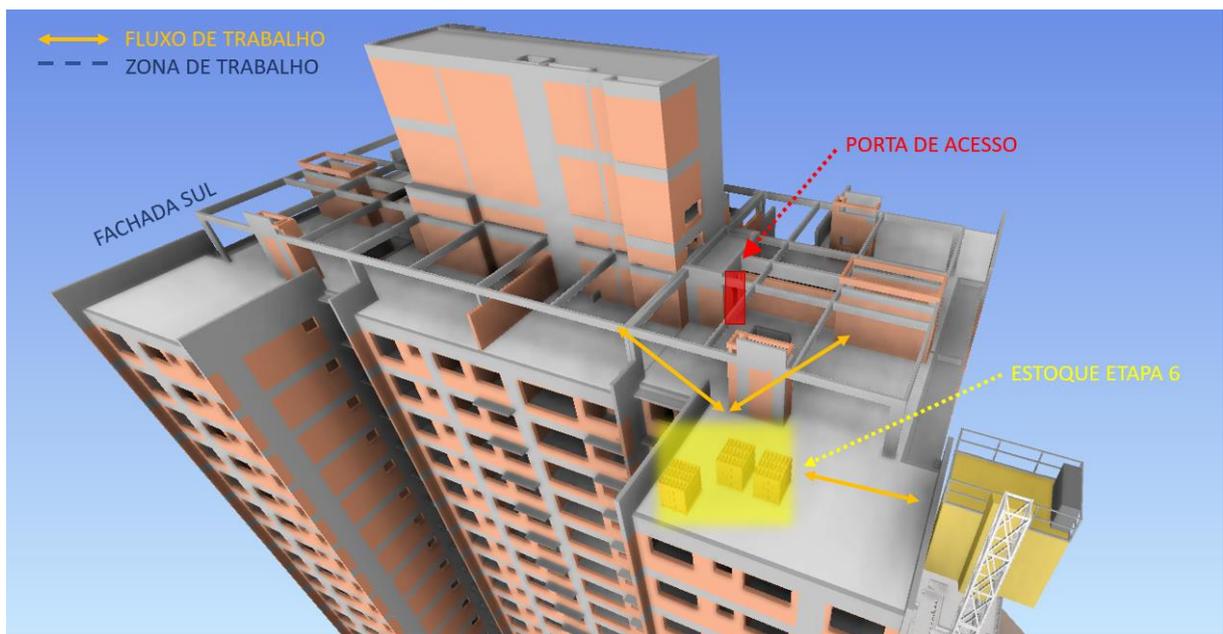
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 46 - Etapa 5 das atividades da cobertura.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 47 - Etapa 6 das atividades da cobertura.

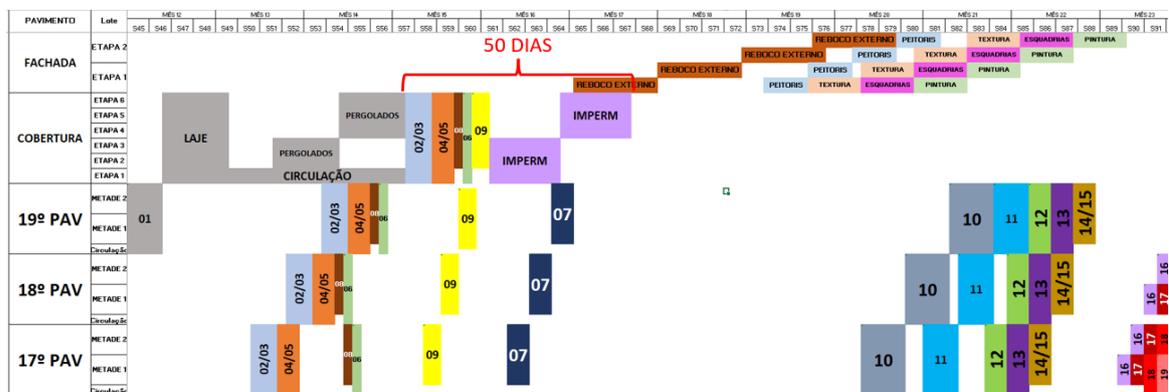


(fonte: elaborada pelo autor)

Não foi possível determinar um índice de capacidade de produção adequado para avaliar se a qualidade das saídas do processo atende aos padrões da empresa. Isso ocorreu porque a empresa não possui dados consolidados que mostrem se os requisitos de qualidade foram atendidos pelas atividades que compõem o processo em análise. Embora haja um controle de qualidade registrado por meio de uma plataforma virtual, muitas vezes a análise é qualitativa e as informações não são condensadas para avaliar a capacidade produtiva dos processos.

Dessa forma, o dado que a empresa analisa e compara para o planejamento de cada atividade é a duração de cada uma. Portanto, o autor determinou, a partir da LB do empreendimento, o tempo de execução máximo para se concluir as atividades de forma a garantir a sequência das atividades no prazo estabelecido. Como a criticidade do processo estava vinculada ao início da execução do revestimento de fachada, definiu-se o prazo de 50 dias após a finalização da supra estrutura para liberação da cobertura à instalação dos balancins que seriam utilizados para execução do reboco externo (Figura 48).

Figura 48 - Trecho da LB com a indicação do prazo para conclusão da cobertura.



(fonte: elaborada pelo autor)

Essa análise se aproximou muito mais de uma análise de demanda do que de capacidade. O autor entendeu que isso aconteceu, principalmente, pela característica da empresa M de terceirizar os serviços. Portanto, existia um papel de determinação de metas a serem cumpridas pelos empreiteiros e determinação de padrões de qualidade. Ou seja, o responsável por gerir os recursos produtivos era o empreiteiro que executava o serviço, e a empresa M exercia um papel de cliente que ou aceitava ou recusava o produto ou serviço recebido, sem abastecer um banco

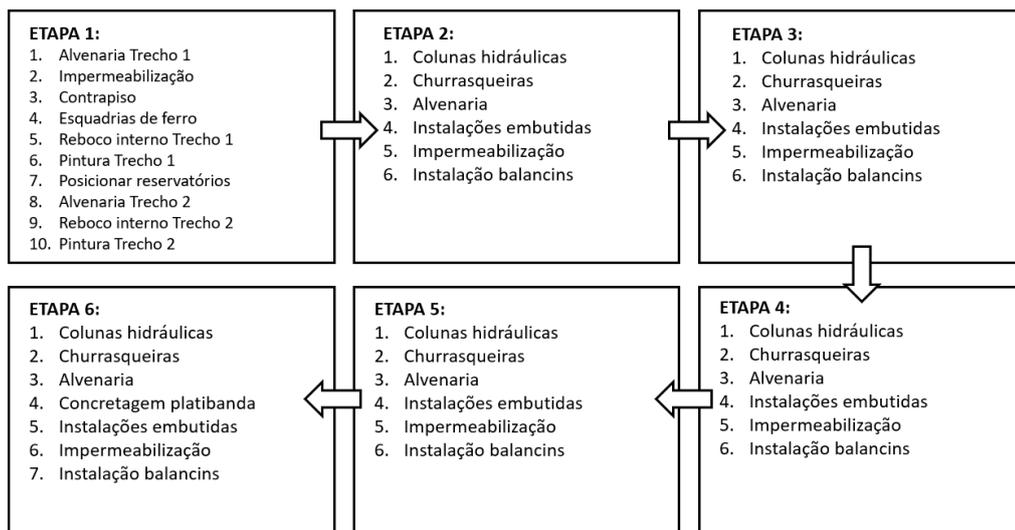
de dados para fazer-se análises quanto à capacidade de cada equipe. Assim, a capacidade era responsabilidade do fornecedor, enquanto a demanda quem determinava era a contratante (empresa M).

5.2.8.2 Definição da sequência de execução do processo

A partir da definição do *layout* e entendimento do fluxo das equipes nas zonas de trabalho da cobertura, definiu-se a sequência de execução que determinaria a liberação da cobertura para a próxima atividade (Figura 49). Como as etapas de execução (passo a passo) de cada atividade já eram bem definidas por documentos de procedimentos internos da empresa, o autor se preocupou em definir a relação de precedência das atividades. Assim, consolidou-se um processo como “liberação da cobertura para execução do revestimento externo de fachada”.

As etapas, no geral, eram repetitivas, entretanto a Etapa 1 tinha características peculiares que implicavam numa maior complexidade de execução. Sendo assim, a primeira etapa contou com uma sequência de atividades distinta das demais e que impactava na liberação das demais zonas de trabalho por conta da necessidade da mobilização dos reservatórios dentro do ambiente específico.

Figura 49 - Sequência de atividades da cobertura para liberação das atividades de fachada.

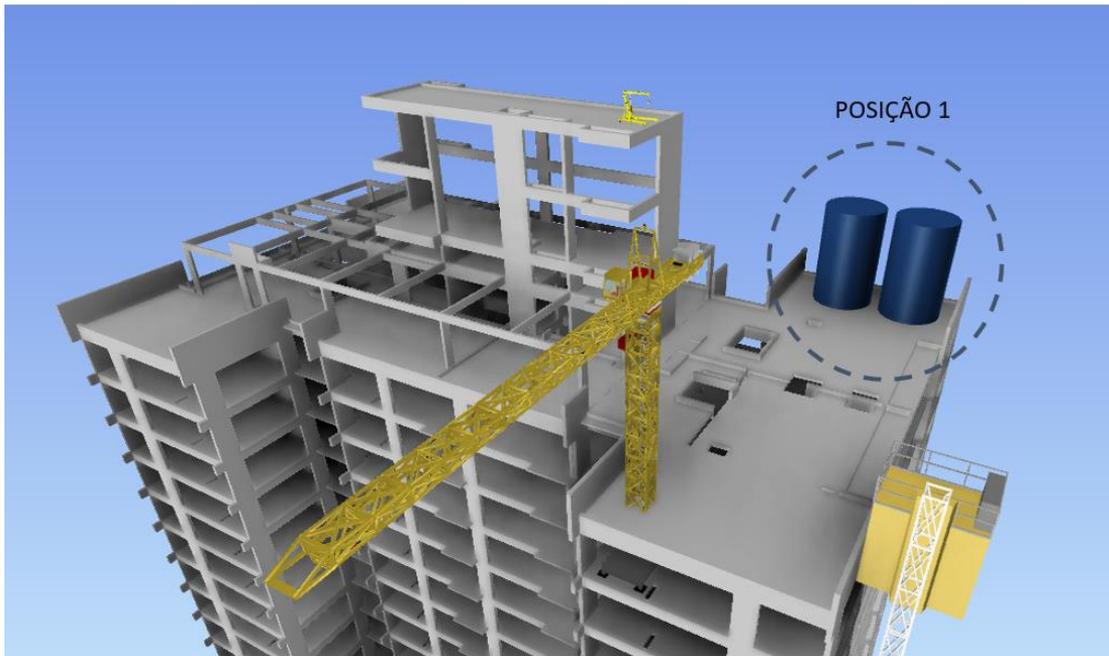


(fonte: elaborado pelo autor)

Um aspecto importante para início das atividades do processo era em relação à elevação dos reservatórios de polietileno até a laje de cobertura, tendo em vista que essa movimentação

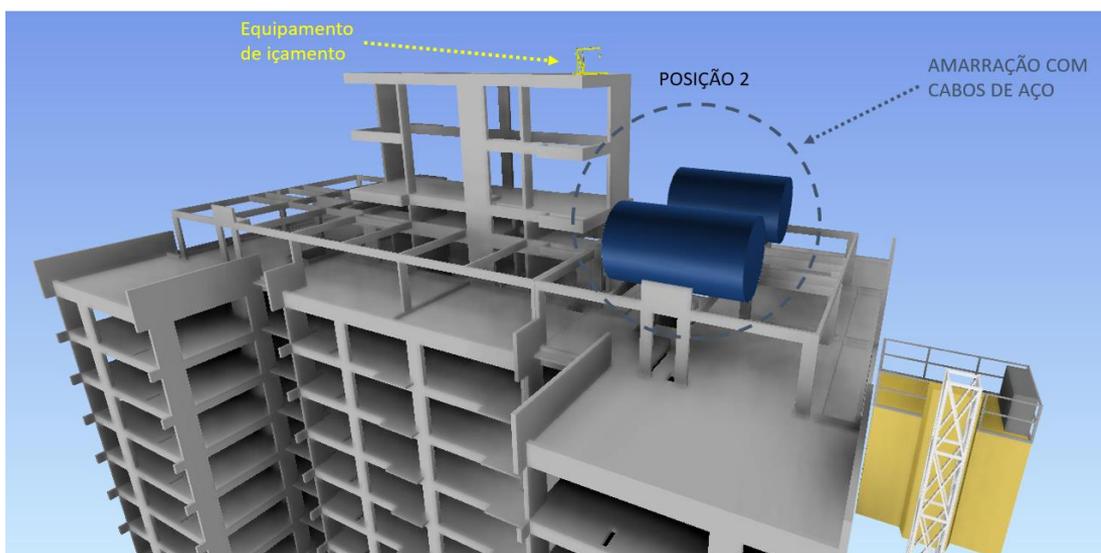
dependia operação da mini grua e essa deveria ser desmobilizada para conclusão do processo de liberação da cobertura. Portanto, definiu-se a sequência de movimentações dos reservatórios necessária para liberação das zonas de trabalho, tendo em vista que esses elementos limitam a movimentação e espaço disponível (Figuras 50 e 51).

Figura 50 - Posição 1 dos reservatórios na cobertura.



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 51 - Posição 2 dos reservatórios na cobertura.



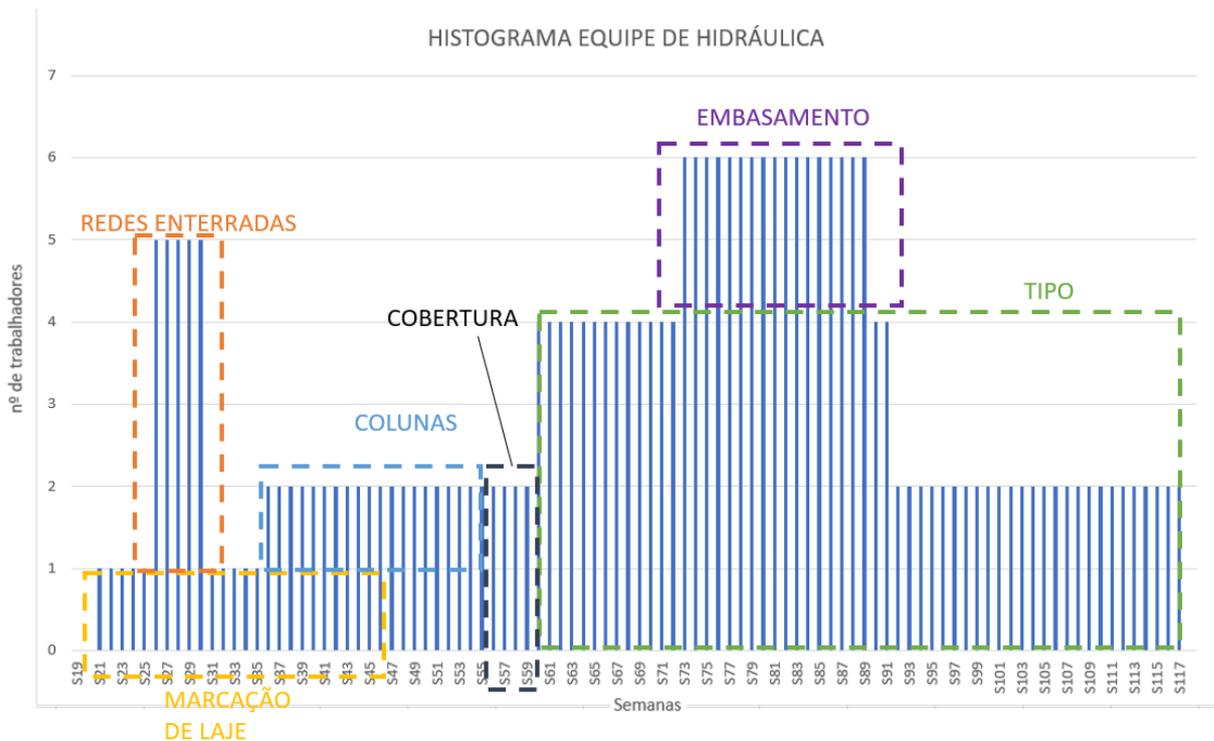
(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.8.3 Avaliação da capacidade *versus* demanda

Como a empresa M terceirizava a mão de obra e não impunha o número de trabalhadores necessários para atendimento das tarefas com a qualidade e prazo determinados, o autor buscou uma forma de indicar as variações estimadas de quantidade de trabalhadores para as principais atividades que aconteceriam na cobertura. Sendo assim, a equipe de engenharia poderia utilizar-se dessas informações como sinalizador para o empreiteiro incrementar membros à sua equipe e controlar se, de fato, a mão de obra disponível atenderia as atividades que aconteceriam.

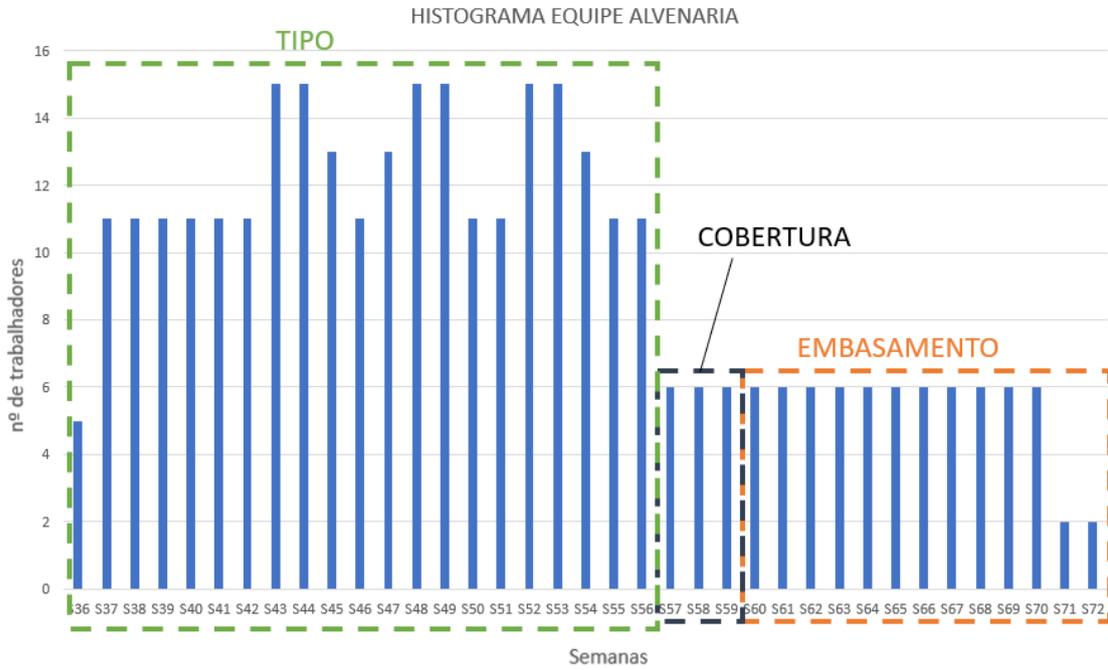
Para isso, o autor elaborou os histogramas das equipes de Hidráulica, Alvenaria, Impermeabilização e Elétrica com base na planilha de pré-dimensionamento de recursos da unidade-base e estimativas da equipe de engenharia quanto ao número de trabalhadores necessários para as demais zonas de trabalho. Em cada histograma (Figuras 52 a 55), foram indicados os principais momentos de variação de número de trabalhadores a partir da análise da linha de balanço.

Figura 52 - Histograma da equipe de hidráulica.



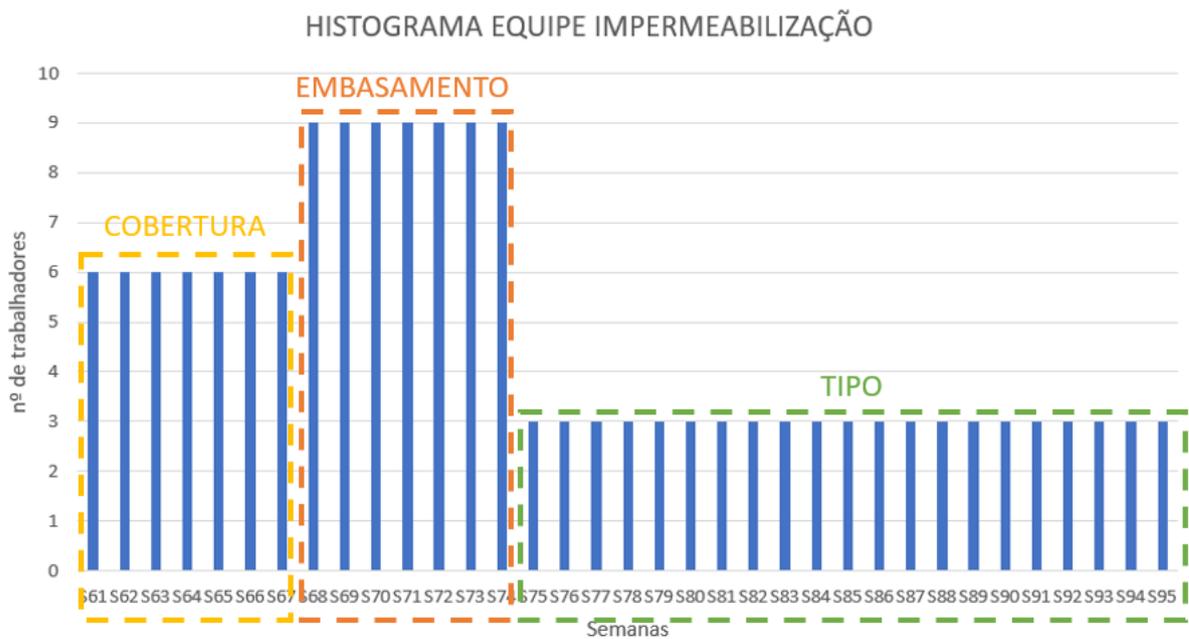
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 53 - Histograma da equipe de alvenaria.



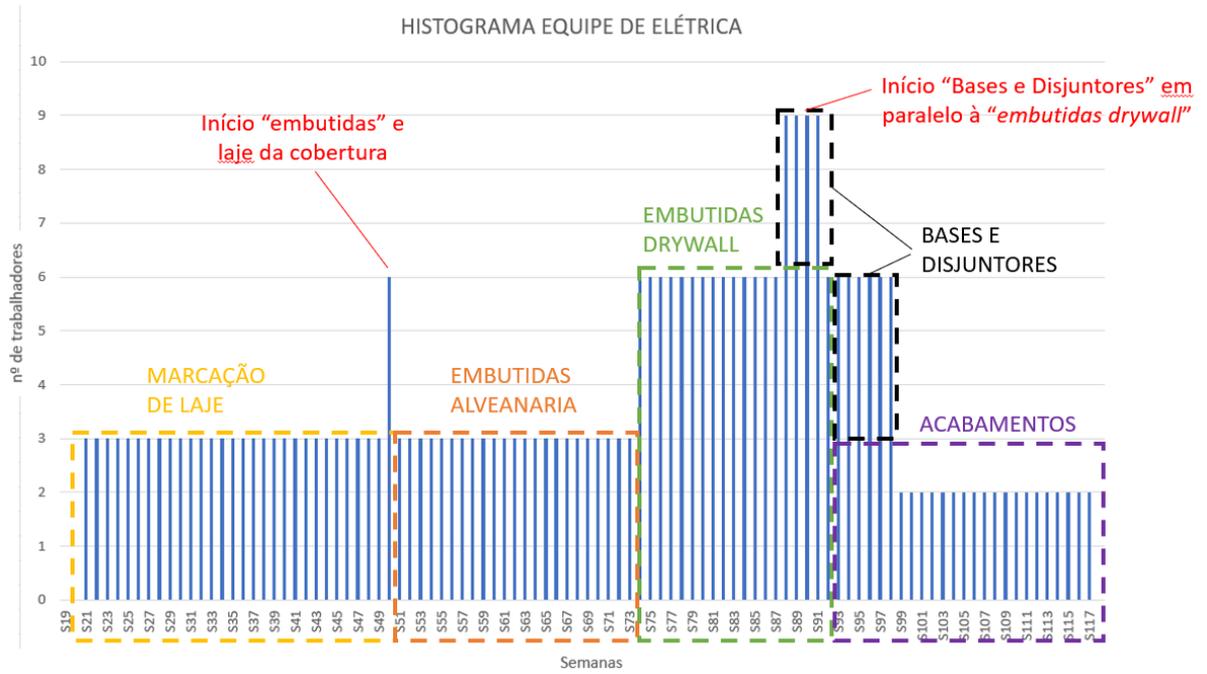
(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 54 - Histograma da equipe de impermeabilização.



(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 55 - Histograma da equipe de instalações elétricas.



(fonte: elaborada pelo autor)

6 DISCUSSÃO E ANÁLISE

Este estudo consistiu na aplicação de conceitos e etapas propostos por Schramm (2004), Rodrigues (2006), Biotto (2012) e Reck (2013) em uma obra de alto padrão de uma empresa de Porto Alegre – RS. As obras de alto padrão, de regra, não têm alto grau de repetitividade o que dificulta a aplicação de diversos conceitos de planejamento e gestão de manufatura aplicadas à maioria das indústrias. A obra em estudo tinha um bom grau de repetitividade para os pavimentos tipo, permitindo o uso de diversas ferramentas propostas em estudos anteriores. Porém, os empreendimentos de alto padrão tem alta variabilidade, seja por questões de particularidade do produto ou solicitações de clientes, e isso faz com que as soluções adotadas em um empreendimento anterior nem sempre possam ser replicadas aos próximos. Sendo assim, esse trabalho buscou alinhar alguns desses conceitos ao sistema de produção da empresa M e fazer uso do BIM 4D para otimização e aperfeiçoamento de algumas decisões que devem ser tomadas no planejamento de longo prazo.

Por mais que tenha como base os trabalhos citados, esse estudo tem algumas peculiaridades. As necessidades das empresas, tipologias de empreendimentos e fluxos de planejamento são distintos entre as empresas dos trabalhos de referência e o presente estudo. Além disso, o plano de longo prazo não estava bem definido, por mais que a obra já estivesse em etapas iniciais. O plano de longo prazo, que geralmente é apresentado na empresa M como um cronograma via *Microsoft Project*, ainda não estava consolidado e o plano de ataque da obra havia sido elaborado com enfoque na setorização da estrutura de concreto armado e sem a identificação dos fluxos de trabalho.

Sendo assim, realizou-se uma análise considerando um plano de ataque já realizado e de um plano de longo prazo em construção, na qual verificou-se a necessidade de revisão de alguns pontos em ambas as etapas e utilizou o BIM 4D como ferramenta para auxílio na tomada de decisão e garantia de maior assertividade nas definições. Além disso, o projeto de processo crítico abordou uma sequência de atividades com capacidade restrita, a fim de constituir um plano bem definido para *layout* das zonas de trabalho, fluxo entre zonas, equipamentos necessários, sequência de atividades e relação da capacidade de produção com a demanda do processo. Com isso, entende-se que este estudo teve importância na comunidade acadêmica por

aplicar as etapas e conceitos dos trabalhos referência em uma outra realidade, e explicitar, via simulações 4D, mudanças nas decisões logísticas de canteiro, além de propor novas.

A primeira etapa foi a definição de possíveis restrições e necessidades da empresa para o plano de longo prazo. Nessa etapa, percebeu-se que a prática comum da empresa era definir metas a partir de experiências de outras obras. Portanto, a obra que fosse planejada deveria cumprir com durações metas de atividades sem a análise de estratégia. A definição do prazo global de obra, por exemplo, se dava com base em ciclos de atividades padronizados que não consideravam as especificidades de cada projeto quanto à limitantes logísticos de cada obra. Por mais que a etapa de identificar restrições e limitantes ao processo produtivo deva delimitar como esse ocorrerá e, por isso, seja uma etapa inicial, a determinação de metas sem uma análise mais aprofundada das características de cada empreendimento e a capacidade de seus fornecedores acaba por fornecer, geralmente, valores que dificilmente serão cumpridos. Como a empresa tem grande portfólio de obras e, conseqüentemente, contato de diversos fornecedores para os mais variados tipos de serviço, perde-se uma oportunidade relevante de envolver os demais intervenientes do processo construtivo. Assim, seria possível estabelecer capacidades de produção mais assertivas, e que reflitam a realidade de cada empreendimento, para determinação das metas a serem atingidas.

Além dos pontos citados, percebeu-se que o setor de planejamento e a equipe de execução de obras da empresa M têm pouco envolvimento nas atividades que envolvem os desenvolvimentos de produto e projetos. Isso faz com que se perca a oportunidade de alterações quanto às tecnologias adotadas, divisão do projeto em zonas, indicação de zonas que sofrerão sobrecargas devido à estoques de materiais pesados, entre outros. As equipes dessas etapas preliminares ao início da obra têm pouca *expertise* quanto a esses conceitos e acaba que apenas com o início efetivo das atividades executivas no canteiro que essas questões são trazidas aos setores de planejamento, projetos e desenvolvimento de produto. Portanto, percebeu-se que as atividades de planejamento do sistema produtivo da obra têm início tardio e não acontecem em paralelo ao desenvolvimento do produto, o que gera prejuízos ao processo como um todo.

Como sugestão de método para solucionar esses problemas, o autor buscou avaliar o sistema de planejamento de longo prazo através da sequência de etapas do Projeto de Sistema de Produção. Somadas às ferramentas utilizadas de praxe durante à elaboração dos mais diversos tipos de PSP, como a LB e a planilha de pré-dimensionamento de recursos, o autor investiu no

uso do BIM 4D como complemento ao método, o que se mostrou muito positivo principalmente no entendimento e antecipação de problemas quanto à sequências executivas e problemas logísticos do canteiro de obras.

Ao definir a sequência de execução, foi observado que a empresa M já tinha estabelecido um padrão claro de tecnologias e atividades para a unidade base do empreendimento. Com base nessa sequência consolidada, a equipe de engenharia conseguiu propor melhorias que otimizaram os fluxos e reduziram os tempos de espera. A vasta experiência do engenheiro em trabalhos semelhantes, como obras da mesma tipologia, contribuiu para o sucesso dessas mudanças. Nessa mesma etapa, o autor utilizou o modelo BIM 3D como objeto para visualização e confirmação das atividades da sequência padrão estabelecida pelo setor de planejamento. O autor pôde verificar que algumas atividades descritas no plano inicial do pavimento tipo não se aplicavam ao empreendimento em questão, e isso ocorreu por conta de atualizações nos padrões de entrega que haviam acontecido recentemente. Além disso, pôde-se analisar que alguns serviços tinham grau de complexidade menor e poderiam ser otimizadas quando da análise dos fluxos de trabalho e consagração de um cronograma para os pavimentos tipo. Um exemplo dessa análise foi a identificação do baixo número de instalações embutidas em alvenaria, o que poderia adiantar o início do reboco interno.

Após, partiu-se para análise de fluxos da unidade base. Nessa análise, o autor pôde verificar que as durações das atividades, lotes de produção e transferência determinados pelo setor de planejamento e os que o engenheiro definiu a partir de outras experiências tinham diferenças significativas. O uso de um arquivo de cronograma padrão pelo setor de planejamento com durações pré-definidas acabava por não refletir o que de fato seria executado em decorrência da falta de análise quanto ao histórico da produtividade das equipes, restrições e aprendizados. Pelo lado da equipe de execução, entendia-se certo conforto no planejamento por conta de, teoricamente, conhecer-se as folgas e poder mitigá-las durante as atividades da obra. Porém, isso fez com que os fluxos de trabalho tivessem inúmeras interrupções quando da elaboração da Linha de Balanço. Como forma de otimizar os fluxos, propondo a continuidade das equipes de trabalho, o autor elaborou uma linha de balanço que garantia essa característica, o que acabou por aumentar o prazo para conclusão da torre. Ainda assim, o prazo ficou dentro do estabelecido pela empresa. Percebeu-se que, na primeira linha de balanço os pavimentos não sofriam com o trabalho em progresso, mas tinham as atividades sem continuidade. Na segunda linha de balanço, com o fluxo contínuo como ponto característico, os pavimentos acabaram por contar

com períodos de trabalho em progresso significativo, e isso ocorreu pela diferença de ritmos entre as atividades. Como sugestão para redução do trabalho em progresso, poderiam ser utilizadas mais equipes para atividades com baixo ritmo a fim de mitigar os períodos improdutivos dos lotes. Outra alternativa seria reduzir o ritmo de algumas atividades, entretanto isso dificilmente é aplicável em um cenário no qual o fornecedor é contratado por empreitada, o que era o caso da maioria dos serviços.

Após a análise dos fluxos da unidade base, estudou-se as estratégias de produção e fluxos de trabalho para o empreendimento. Partiu-se do zoneamento já elaborado pela empresa M e estudou-se diferentes alternativas para cenários de contratação para mãos de obra de atividades críticas da construção. O uso da linha de balanço foi fundamental nessa etapa, pois se mostrou uma alternativa de visualização de fluxos mais simples e de fácil alteração que o modelo 4D. Como o processo de planejamento das atividades de obra não era integrado aos desenvolvimentos de produto e projetos da empresa M, os modelos não seguiam a setorização que estava prevista e não continham informações quanto ao ambiente dos elementos que facilitariam a seleção automatizada no software. Ou seja, a elaboração de cenários para o empreendimento depende de informações que facilitem e otimizem o uso do modelo quando da execução da modelagem 4D. Além disso, o *software* 4D utilizado pelo autor não permitia o salvamento de mais de um plano de atividades, o que dificulta a comparação na análise das diferentes situações propostas. Portanto, dessa etapa conclui-se que o uso do planejamento 4D para análise de cenários de estratégias e fluxos produtivos, para alcançar o melhor desempenho, deveria acontecer integrado às etapas de desenvolvimento de produto e projetos. Assim, os modelos 3D podem ser abastecidos com as informações das zonas de trabalho e facilitar a filtragem e seleção no software utilizado, o que automatiza e agiliza o processo de avaliação de diferentes estratégias de produção.

Na sequência, o autor optou por um dos cenários e modelou na dimensão 4D. Essa etapa teve como principal objetivo a avaliação do plano de ataque inicial elaborado pela empresa M e como o BIM 4D poderia auxiliar na identificação de conflitos desse plano e no auxílio para propor novas soluções. A partir disso, o autor pôde detalhar o plano de ataque e visualizar momentos diferentes do desenvolvimento da construção onde foram verificados alguns conflitos de sequenciamento e problemas logísticos. Com isso, foi possível elaborar uma lista de restrições identificadas na simulação 4D que poderiam ser utilizadas para reavaliação do plano ou como pontos de atenção para as próximas etapas de obra. Aqui, os problemas com

propriedades de elementos e limitações do software citados no parágrafo anterior dificultaram a análise e tornaram o processo um tanto quanto manual. Para a análise, importou-se para o software 4D o cronograma executivo em elaboração pelo setor de planejamento, e, a partir da lista de atividades desse arquivo (EAP), foram definidos os grupos de seleção que vinculados aos elementos 3D possibilitaram a simulação 4D. Essa sequência de passos sugere que, antes da análise 4D, exista a elaboração do plano de longo prazo em outro software de planejamento. Infelizmente, o *Navisworks* tem diversas limitações para a conversão de uma estrutura analítica de projeto em um cronograma de longo prazo, o que impossibilita que o processo de planejamento já se inicie integrando-se modelo 3D e cronograma. Existem outros softwares disponíveis no mercado com ferramentas mais interessantes, porém uma das limitações do trabalho foi a aplicabilidade dentro de um cenário de uma empresa que já possuía um pacote de programas para gestão de projetos e planejamento que estava, de certa forma, consolidado entre as equipes.

Por fim, o autor identificou um processo crítico do sistema produtivo da obra em questão e o detalhou a fim de minimizar seus efeitos negativos. Para o estudo de layout, o modelo 4D possibilitou identificar limitações e restrições que o sequenciamento de atividades poderia apresentar quanto aos fluxos de pessoas e materiais nas zonas de trabalho. Sendo, assim o autor propôs via modelo o layout de cada etapa de execução, o que permite o melhor entendimento por parte da equipe de execução das fases críticas e possibilita economia de tempo, tendo em vista que os fluxos não serão avaliados quando do início do serviço, mas sim previamente projetados. Ademais, não foi possível determinar um índice de capacidade de produção adequado para avaliar se a qualidade das saídas do processo atende aos padrões da empresa. Embora haja um controle de qualidade registrado por meio de uma plataforma virtual da empresa, muitas vezes a análise é qualitativa e as informações não são condensadas para avaliar a capacidade produtiva dos processos. Portanto, o autor determinou, a partir da LB do empreendimento, o tempo de execução máximo para se concluir as atividades de forma a garantir a sequência das atividades no prazo estabelecido, o que se aproximou mais de uma análise de demanda. Somou-se a isso a elaboração do histograma das equipes para determinação de período de picos de mão de obra das atividades específicas do processo crítico, a fim de indicar para equipe de obra um número estimado em cada etapa do desenvolvimento da obra para que seja controlado futuramente.

Em resumo, ao utilizar o BIM 4D em conjunto com o PSP, foi possível obter uma visão mais precisa do processo de construção, identificar pontos de melhoria e potenciais gargalos, além de gerenciar o fluxo de trabalho de forma mais eficiente. Por mais que a literatura sugira que, em empreendimentos sem alto grau de repetitividade o plano de longo prazo detalhado não gere muitos benefícios, o estudo identificou possibilidades de aperfeiçoamento do mesmo com ferramentas que não são ainda aplicadas na empresa em estudo. Além disso, foi possível verificar que o uso do BIM 4D por si só não garante o pleno proveito da tecnologia. Para isso, deve-se integrar a ferramenta à um sistema bem definido de planejamento que determine etapas e características necessárias para os bons resultados da análise 4D dos planos de longo prazo. Neste trabalho, o método de elaboração de um Projeto de Sistema de Produção auxiliou nessa integração e possibilitou que o BIM 4D fosse um meio de otimização e enriquecimento do estudo do sistema produtivo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo pôde constatar que a utilização da modelagem 4D para empreendimentos complexos é uma importante ferramenta para o planejamento de longo prazo, sendo importante para análises e validações de alternativas de estratégias para a produção do canteiro de obras. Entretanto, o uso dessa tecnologia deve vir sempre vinculada a um processo de planejamento que se integre às diferentes etapas do produto e permita que as definições do sistema produtivo infiram pontos que possam otimizar e, até mesmo, trazer mais confiabilidade às decisões tomadas a longo prazo.

Foi possível verificar que, na empresa estudada, os demais intervenientes da construção (como empreiteiros e demais fornecedores) têm pouca participação nas decisões a longo prazo. Por mais que o plano de longo prazo de um empreendimento complexo não tenha o mesmo grau de detalhamento de planos de médio ou curto prazo, as experiências e informações desses fornecedores poderiam contribuir significativamente para algumas decisões do planejamento de longo prazo de forma a reduzir as incertezas dos processos. Além disso, o método de planejamento da empresa M não segue as etapas do Projeto de Sistema de Produção, mesmo que tenha grande potencial para isso a partir dos seguintes aspectos: padrões de entrega e tecnologias bem definidas, produtos de mesma tipologia semelhantes, vasta experiência no setor, processos e fluxos de desenvolvimento de novos produtos consolidados, entre outros. Outro ponto importante é o nível de desenvolvimento BIM que a empresa estudada possui. A mesma é referência para as demais construtoras locais com um processo de desenvolvimento de projetos em *Building Information Modeling* que vêm evoluindo cada vez mais e atende tanto às necessidades de gestão e compatibilização de projetos, quanto no auxílio na compreensão de projetos por parte da equipe de execução obra.

Com isso, observou-se que todo esse potencial não é aproveitado para o desenvolvimento de práticas e culturas que visem a redução de desperdícios e imprevisibilidades, entrega de um produto final com ainda mais qualidade, atendimento ao prazo inicial de obra e ao orçamento. Com os projetos com bom grau de amadurecimento na dimensão 3D, a empresa teria condições de integrar a modelagem 4D ainda na etapa de Anteprojeto, o que antecede em seis meses o início das obras. Ou seja, um planejamento realizado com base em análise de diferentes cenários

e com maior clareza quanto à estratégia de produção adotada, com tempo hábil de impactar nos demais fluxos como os de emissão de projetos, orçamentação e contratação.

Ainda assim, foi possível concluir do trabalho que a implementação do BIM 4D para o planejamento, mesmo que em etapa posterior à definição da estratégia de produção do empreendimento, foi proveitosa ao passo de identificar conflitos de sequenciamento e otimizações logísticas que não haviam sido percebidas. Além disso, o método utilizado para análise do sistema de produção a partir das etapas para desenvolvimento do Projeto de Sistema de Produção (PSP) possibilitaram a avaliação das especificidades do projeto em questão em relação ao padrão do que já vem sendo abordado na empresa. Os estudos de fluxos e estratégias de produção indicaram pontos que nem sempre se repetem de um empreendimento para o outro e que necessitam de adaptações, e esses são muitas vezes apenas observados quando da proximidade do início dos serviços no canteiro. Sendo assim, o uso do BIM 4D integrado ao Projeto de Sistema de Produção (PSP) se mostrou uma prática que pode render bons frutos na busca pela minimização de perdas e maximização dos resultados.

A partir das deficiências observadas, limitações impostas pelo estudo e particularidades dos resultados, sugerem-se trabalhos futuros que abordem os seguintes temas:

- a) Implementação do Projeto de Sistema de Produção no sistema de planejamento da empresa M;
- b) Desenvolvimento de método para atualização de estratégias de produção durante o período de obra via BIM 4D;
- c) Avaliação de propriedades essenciais dos elementos nos modelos 3D para a otimização da modelagem 4D;
- d) Utilização do modelo 4D como ferramenta de controle da produção;
- e) Comparar quantitativamente os impactos da adoção da metodologia do PSP com BIM 4D no planejamento de obras *versus* um sistema de planejamento que não adote tais métodos.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; ANTUNES JÚNIOR., J. A. V. **Takt-Time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção**. Revista Gestão & Produção, v. 8, n. 1, p. 1-18, 2001.
- FRANDSON, A.; TOMMELEIN, I. D. **Development of a takt-time plan: a case study**. In: **Construction Research Congress**. Atlanta, EUA, 2014. p. 1646-1655.
- ANTUNES, Junico *et al.* **Sistemas de produção: Conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 328 p. ISBN 978-85-7780-116-9.
- BALLARD, G. *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, G.; HOWELL, G. *What kind of production is construction?* In: **Proc. 6th Annual Conf. Int'l. Group for Lean Construction**. 1998.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory. **Shielding production: An essential step in production control**. Journal of Construction Engineering and Management, New York, v. 124, n. 1, p. 11-17, 1998. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(11).
- BARTH, K. B. *et al.* **Implementation of Production System Design in House Building Projects: a Lean Journey in Chile**. In: TOMMELEIN, I. D.; DANIEL, E. (org.). *Anais eletrônicos...* Berkeley: International Group for Lean Construction, 2020. Disponível em: <http://iglc.net/Papers/Details/1703>. Acesso em: 22 mar. 2023. DOI: 10.24928/2020/0124.
- BATAGLIN, F. S. **Modelo para gestão dos processos logísticos em obras de sistemas pré-fabricados Engineer-to-order**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.
- BERNARDES, Maurício Moreira S. **Planejamento e Controle da Produção para Empresas de Construção Civil**. Barueri, São Paulo, Brasil: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9788521637424.
- BIOTTO, C. N. **Método de Gestão da Produção na Construção Civil com Uso da Modelagem BIM 4D**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. **Uso de modelagem 4D e Building Information Modeling na gestão de sistemas de produção em empreendimentos de construção**. Ambiente Construído, v. 15, n. 2, p. 79–96, 2015.
- Building Information Management (BIM) Council | National Institute of Building Sciences**. Disponível em: <<https://www.nibs.org/bimc>>.
- CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de Produção e Operações**, 4ª edição. Barueri, São Paulo, Brasil: Grupo GEN, 2017. E-book. ISBN 9788597013153.

DE VARGAS, F.B. **Método para Planejamento e Controle da Produção baseado em Zonas de Trabalho e BIM**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, UFRGS, Porto Alegre.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. John Wiley & Sons, 2011.

FRANDSON, A.; BERGHEDE, K.; TOMMELEIN, I. D. **Takt time planning for construction of exterior cladding**. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 21., Fortaleza, 2013. Proceedings... Fortaleza, 2013. p. 527–536.

HOWELL, G.; BALLARD, G. Design of Construction Operations. **White paper 04**. [s.l.]: Lean Construction Institute, 1999.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based Management for Construction. Planning, Scheduling and Control**. Routledge, 2006.

KOSKELA, L. **Application of the new philosophy to construction**. Stanford, CA: Stanford University, 1992.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Technical Report 72, Finland: CIFE, 1992.

KOSKELA, L.; BALLARD, G. What should we require from a production system in construction? **Construction Research**, p. 1-8, 2003.

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.

LEHTOVAARA, J. *et al.* **How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model**. Construction Management and Economics, p. 1–23, 5 out. 2020.

MELLO, L. C. B. B.; DE AMORIM, S. R. L. **O subsector de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos**. Produção, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009

RECK, R. H. *et al.* **Diretrizes para a definição de lotes de montagem de sistemas pré-fabricados de concreto do tipo *engineer-to-order***. Ambiente Construído, v. 20, n. 1, p. 105–127, mar. 2020.

RECK, R. H. **Proposta de método para integração da simulação de eventos discretos e visualização BIM 4D no projeto do sistema de produção**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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.

SACKS, R. What constitutes good production flow in construction? **Construction Management and Economics**, v. 34, n. 9, p. 641-656, 2016.

SCHRAMM, F. K. **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.

SCHRAMM, F. K.; FORMOSO, C. T. Projeto de sistemas de produção na construção civil empregando simulação no apoio à tomada de decisão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. v. 15, n. 4, p. 165-182, out./dez. 2015.

SCHRAMM, F. **O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

SEPPÄNEN, O.; BALLARD, G.; PESONEN, S. **The combination of last planner system and location-based management system**. *Lean Construction Journal*, p. 43–54, 2010.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Grupo A, 1996. E-book. ISBN 9788577800995.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**, 8ª edição. Barueri, São Paulo, Brasil: Grupo GEN, 2018. 9788597015386.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert; BETTS, Alan. **Gerenciamento de Operações e de Processos**. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788565837934.

BULHÕES, I. R.; PICCHI, F. A. Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 205–223, 29 dez. 2011.

KOSKELA, Lauri; BALLARD, Glenn; HOWELL, Gregory; TOMMELEIN, Iris. The foundations of lean construction. **Design and Construction: Building in Value**, 2002.