

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**Daniel de Freitas Silva**

**ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: UM  
ESTUDO DE CASO EM OBRA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Santa Maria, RS  
2022

**Daniel de Freitas Silva**

**ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE  
CASO EM OBRA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. André Lübeck

Santa Maria, RS  
2022

**Daniel de Freitas Silva**

**ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE  
CASO EM OBRA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

**Aprovado em 1º de abril de 2022.**

---

**Prof. Dr. André Lübeck (UFSM)  
(Orientador/Presidente)**

---

**Prof. Msc. Fabrício Berger de Vargas (UFRGS)**

---

**Luiza Sangoi Dias da Costa (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2022

## AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é a minha família pelo amor e pelo apoio incondicional ao longo de todos esses anos de faculdade, muito obrigado por permitirem que eu pudesse sonhar, minha gratidão será eterna!

O segundo agradecimento é aqueles que sempre estiveram presentes me apoiando durante toda ou nos momentos mais importantes dessa trajetória, sem dúvidas vocês são especiais na minha vida: Mirela, Yoshiaki, Yngrid, Luiza, Pablo, Matheus, Felipe, Alexandre, Augusto, André, Gustavo e Gabriel. Obrigado também a todos os colegas de Engenharia Civil ao longo desses anos de faculdade.

Ao longo da minha trajetória, pude fazer parte de organizações que viabilizaram a construção da minha identidade. Muito obrigado à Base Jr, NEJ SM, FEJERS e TZ Engenharia pelas experiências e amizades que proporcionaram na minha vida. Em especial, a CZ Engenharia pelas oportunidades e mentoria prestadas pelos engenheiros, Eduardo Zampieri e Luiz Fernando Corrêa, e pelos mestres, Vando e Arioli.

Gostaria de agradecer à Natacha Sauer pela metodologia e mentoria desse trabalho ao dispor de toda a sua atenção para me auxiliar ao longo do curso Lean & BIM. Também um agradecimento especial para Luiza Sangoi, minha colega de faculdade e amiga, acompanhar o teu trabalho e ter a tua parceria foi essencial para a minha graduação.

Agradeço ao professor André pela orientação e ao Fabrício Vargas por ter compartilhado comigo sobre Lean & BIM em 2019 e ter aceitado ser banca desse trabalho.

## RESUMO

### ELABORAÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM OBRA RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR

AUTOR: Daniel de Freitas Silva

ORIENTADOR: André Lübeck

A aplicação dos princípios da produção enxuta na indústria da construção civil é discutida há décadas, porém ainda existe uma demanda latente de estudos de alternativas para facilitar a aplicação dos conceitos na prática. Com esse intuito, a elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP) é definida como um passo essencial para alcançar esse objetivo, muito embora ele seja negligenciado na ânsia de implementar diretamente ferramentas de Planejamento e Controle de Produção (PCP). Nesse contexto, o PSP permite analisar o estado atual de produção para identificar falhas e melhorias que possam ser corrigidas e implementadas antes do início da execução dos empreendimentos. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo geral elaborar o Projeto do Sistema de Produção (PSP) de obra residencial multifamiliar a ser executada em Santa Maria, interior do Rio Grande do Sul (RS), por meio da aplicação de ferramentas do *Lean Construction* e com o auxílio do *Building Information Modelling* (BIM). Em relação à metodologia do estudo, optou-se pela abordagem qualitativa e elegeu-se o estudo de caso como procedimento técnico. Entre os resultados do estudo estão o desenvolvimento de parâmetros inseridos no modelo 3D para quantificação dos serviços elencados na Estrutura Análítica do Projeto (EAP) vinculando os quantitativos com a base de dados existente permitindo a elaboração de um planejamento de longo prazo utilizando das ferramentas: linha de balanço e *takt time*. Entre as considerações finais do estudo, pode-se mencionar o desenvolvimento de um cronograma que utiliza do conceito da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho (EHZT) e do nivelamento da produção buscando a validação da implementação *Lean Construction* com o auxílio do BIM. As limitações do trabalho consistiram da inexistência dos projetos complementares em BIM além da ausência de um orçamento detalhado focando o estudo somente no aspecto físico das obras. Como sugestão de futuros trabalhos, sugere-se a aplicação de uma metodologia de integração entre o PCP e orçamento para a validação da eficiência do PSP.

**Palavras chave:** Projeto do Sistema de Produção. *Building Information Modelling*. *Lean Construction*.

## ABSTRACT

### PREPARATION OF THE PRODUCTION SYSTEM DESIGN: A CASE STUDY IN A MULTIFAMILY RESIDENTIAL WORK

AUTHOR: Daniel de Freitas Silva

ADVISOR: André Lübeck

The application of lean production principles in the construction industry has been discussed for decades, but there is still a latent demand for alternative studies to facilitate the application of the concepts in practice. To this end, the elaboration of the Production System Design (PSD) is defined as an essential step to achieve this objective, even though it is neglected in the eagerness to directly implement Production Planning and Control (PPC) tools. In this context, the PSP allows analyzing the current state of production to identify flaws and improvements that can be corrected and implemented before the start of the execution of the projects. Thus, the present study has the general objective of elaborating the Production System Design (PSD) of multifamily residential work to be carried out in Santa Maria, in the interior of Rio Grande do Sul (RS), through the application of Lean Construction tools. and with the help of Building Information Modeling (BIM). Regarding the study methodology, a qualitative approach was chosen and the case study was chosen as a technical procedure. Among the results of the study are the development of parametrers in a 3D model to quantify the services listed in the Work Breakdown Structure (WBS) of the Project linking the quantitative with the existing database allowing the elaboration of a long-term planning using the tools: balance line and takt time. Among the final considerations of the study, one can mention the development of a schedule that uses the concept of production leveling, “pull production” and the validation of the Lean Construction implementation with the aid of BIM. The limitations of the work consisted of the inexistence of complementary projects in BIM in addition to the absence of a detailed budget focusing the study only on the physical aspect of the works. As a suggestion for future works, it is suggested the application of a methodology of integration between the PCP and the budget for the validation of the efficiency of the PSD.

**Keywords:** Production System Design. Building Modelling Model. Lean Construction.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do <i>takt time</i> .....	26
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de elaboração de PSP para empreendimentos habitacionais de interesse social.....	17
Figura 2 - Método de elaboração de PSP para empreendimentos complexos .....	18
Figura 3 - Etapas de implementação do <i>Lean Construction</i> .....	22
Figura 4 - Exemplificação da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho .....	25
Figura 5 - Estudo do uso das aplicações do BIM para facilitar a implementação do <i>Lean Construction</i> . .....	29
Figura 6 - Etapas de elaboração do PSP para o estudo de caso.....	31
Figura 7 - Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho do estudo de caso .....	40
Figura 8 - Sistema de localização utilizado no <i>software Agilean Planner Starter</i> .....	40
Figura 9 - Definição da sequência executiva do estudo caso - etapa Estrutura.....	41
Figura 10 - Definição da sequência executiva do estudo caso - etapa Acabamentos .....	41
Figura 11 - Definição da sequência executiva do estudo de caso - Fachada .....	42
Figura 12 - Base de dados de produtividade dos empreendimentos da construtora	43
Figura 13 - Visualização dos objetos BIM vinculados aos parâmetros utilizados.....	45
Figura 14 - Organização da EAP para a quantificação na ferramenta Quantification .....	45
Figura 15 - Vinculação dos objetos BIM aos itens do quantitativo .....	46
Figura 16 - Comando para atribuir os objetos BIM no quantitativo .....	47
Figura 17 - Pré-dimensionamento dos serviços utilizando a base de dados.....	48
Figura 18 - Definição das atividades no <i>software Agilean Planner Starter</i> .....	49
Figura 19 - Criação da linha de balanço do empreendimento.....	49
Figura 20 - Modelo estrutural analisado no <i>software NavisWorks Manage</i> .....	50
Figura 21 - Comparativo de dias trabalhados por forma de execução da estrutura .	51
Figura 22 - Definição dos panos da fachada Leste .....	52
Figura 23 - Linha de balanço da fachada .....	52
Figura 24 - Dimensionamento das equipes utilizando o tempo <i>takt</i> .....	53
Figura 25 - Utilização da ferramenta Fluxo do <i>software Agilean Planner Starter</i> .....	54
Figura 26 - Dimensionamento das equipes com tempo <i>takt</i> de 5 dias .....	55
Figura 27 - Linha de balanço com tempo <i>takt</i> de 5 dias.....	55
Figura 28 - Definição de prazos para contratação de serviços .....	56

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Análise dos contratos e forma de pagamento dos serviços .....	33
Quadro 2 - Análise da forma de pagamento dos serviços com a representação de gargalo de produção na execução dos empreendimentos .....	34
Quadro 3 - Análise dos recursos necessários para transporte e material .....	36
Quadro 4 - Relação dos serviços quantificados com os parâmetros utilizados.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS

BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CUB	Custo Unitário Básico
EAP	Estrutura Analítica de Projeto
EHZT	Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho
LBM	<i>Location Based-Management</i>
LPS	<i>Last Planner System</i>
MFV	Mapeamento do Fluxo de Valor
PCP	Planejamento e Controle da Produção
PSP	Projeto do Sistema de produção
SINDUSCON	Sindicado da Indústria da Construção Civil
STP	Sistema Toyota de Produção
VSM	<i>Value Stream Mapping</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	12
1.2 OBJETIVOS .....	13
<b>1.2.1 Objetivos Gerais</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>14</b>
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 <i>LEAN CONSTRUCTION</i> .....	15
2.2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	16
<b>2.2.1 Identificação da unidade-base</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.2 Definição da sequência de execução do empreendimento</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.3 Dimensionamento de capacidade dos recursos de produção</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2.4 Estudo dos fluxos de trabalho</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.5 Identificação e projeto de processos críticos</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2.6 Definição da estratégia de execução</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2.7 Ganhos do PSP</b> .....	<b>21</b>
2.3 <i>Lean Construction: o princípio do Takt</i> por Oliveira (2018) .....	22
<b>2.3.1 Análise de escopo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3.2 Planejamento Puxado</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.3 O princípio do Takt</b> .....	<b>23</b>
<b>2.3.4 Gestão, controle e melhoria contínua</b> .....	<b>24</b>
2.4 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE ZONAS DE TRABALHO .....	24
2.5 LINHA DE BALANÇO.....	26
2.6 <i>TAKT TIME</i> .....	26
2.7 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO.....	27
2.8 <i>BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)</i> .....	27
<b>2.8.1 Parametrização</b> .....	<b>27</b>
<b>2.8.2 Quantificação</b> .....	<b>28</b>
2.9 INTERFACE ENTRE AS PRÁTICAS LEAN E O BIM .....	28
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>30</b>
3.1 ESTUDO DE CASO .....	30
<b>4 RESULTADOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 ANÁLISE DE ESCOPO .....	32
4.2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO.....	39
<b>4.2.1 Definição da unidade-base</b> .....	<b>39</b>
<b>4.2.2 Definição da sequência de execução</b> .....	<b>41</b>
<b>4.2.3 Pré-dimensionamento da capacidade de recursos</b> .....	<b>42</b>
<b>4.2.4 Estudo dos fluxos de trabalho</b> .....	<b>48</b>
<b>4.2.5 Estudo dos processos críticos</b> .....	<b>50</b>
<b>4.2.6 Definição da estratégia de execução</b> .....	<b>53</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>57</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO DO ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os últimos anos para o setor da construção civil foram extremamente atípicos. Pode-se vivenciar um aumento significativo da demanda de imóveis motivados pela redução das taxas de juros pelo Governo Federal, bem como pelas novas necessidades advindas da pandemia COVID-19 que influenciaram no aquecimento do mercado imobiliário e por consequência do setor da construção civil.

Paralelo a esse aumento de demanda houve também uma variação de custos considerável influenciado também pela pandemia COVID-19 o que pode ser percebido em índices regionais como o Custo Unitário Básico (CUB) do Rio Grande do Sul, calculado e atualizado pelo Sindicato da Construção Civil do Rio Grande do Sul (SINDUSCON/RS). Com base nele, pode-se observar utilizando como exemplo a categoria R16, com padrão de acabamento alto, e assim visualiza-se um aumento de julho de 2020 à julho de 2021 de 32.65%, (SINDUSCON, 2021).

Dessa forma, o cenário é de um significativo aumento da complexidade da produção, pois a terceirização da mão de obra por parte das construtoras e incorporadas é uma realidade e o aumento do volume de construções promoveu uma disputa pelas empreiteiras mais qualificadas. Além disso, a cadeia de suprimentos da construção civil foi extremamente afetada, mas não só na variação dos custos já comentada, percebe-se hoje a solicitação de prazos maiores de entrega por parte de fornecedores, motivando também a necessidade de assertividade na quantificação e previsão de materiais.

Nota-se assim um crescimento na importância do planejamento pois ele se torna essencial para promover a adaptação a essas mudanças e garantir o cumprimento de prazos de entrega e dos custos das obras. Entretanto, o planejamento tradicional não é o suficiente para lidar com o aumento das variáveis de produção que podem acontecer ao longo da execução de uma obra.

Nesse contexto, a adoção dos princípios do *Lean Construction* (Construção enxuta, tradução nossa) se caracteriza como um diferencial competitivo permitindo a redução da variabilidade da produção, buscando garantir um fluxo contínuo e o cumprimento dos prazos e custos estabelecidos para o empreendimento.

A produção enxuta tem o potencial de promover uma mudança cultural necessária na construção civil sendo o passo inicial para o avanço tecnológico e

produtivo do nosso setor. Melhoria na produtividade da mão de obra e aumento da industrialização das construções são desafios antigos que precisam ainda ser explorados.

O primeiro passo para implementar essa mudança é a análise do que está sendo feito hoje, ter clareza do estado atual do processo de construção para a partir dele promover melhorias necessárias para chegar em um estado futuro que permita o cumprimento dos prazos e custos independente das variáveis e limitações que sejam encontradas ao longo do tempo.

O aumento da complexidade e das variáveis de produção são uma oportunidade, elas acionam o senso de urgência para uma modernização que é discutida há tempos pela comunidade acadêmica mas que só agora está sendo dada a devida importância pelo mercado.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Carvalho et al. (2021), uma das causas mais relevantes de atrasos e custos extras é a falta de planejamento e controle das obras o qual tem influencia direta dos problemas de coordenação e tomada de decisões que deveriam ser bem resolvidos antes do início da execução. No estudo eles destacam falhas no processo de suprimentos, gestão de mão de obra, gestão de projetos e gestão das condições climáticas representam 69,18% do não cumprimento do prazo estabelecido inicialmente.

Buscando resolver esses problemas destaca-se a utilização dos princípios e ferramentas do *Lean Construction* as quais podem ser facilitadas com a utilização do *Building Information Modelling* (BIM, Modelagem da Informação da Construção, tradução nossa). Essas interfaces foram analisadas no estudo de Mariz e Picchi (2021) buscando entender quais eram as mais exploradas e identificar potenciais utilizações das duas ferramentas em conjunto.

Como resultado do estudo, temos que a ferramenta *Last Planner System* (LPS, Sistema Last Planner, tradução nossa) é a mais explorada com a utilização do BIM, entretanto pode-se perceber a utilização razoável de ferramentas como linha de balanço principalmente para a representação do processo construtivo buscando a utilização de conceitos como o fluxo de trabalho, fluxo contínuo e ininterrupto além da aplicação do *takt time*, a qual pode ser vinculada a um modelo BIM e utilizada para

realizar uma simulação construtiva. O estudo destaca também estudos pioneiros sobre a utilização do *takt time* e ferramentas como o *Kaizen* e o *Value Stream Mapping* (VSM, Mapeamento do Fluxo do Valor, tradução nossa) podem ser utilizados em qualquer fase da construção e o BIM pode auxiliá-los na coleta de informações.

Nesse contexto, a aplicação desses conceitos e ferramentas representa uma oportunidade para complementar a aplicação da produção enxuta na construção civil.

Uma das formas de promover a estruturação de soluções para os problemas de planejamento e gerenciamento de obra é o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção (PSP) o qual foi idealizado para visualizar, analisar e definir os processos e informações que irão ser necessárias ao longo da execução de cada obra. Ele tem como resultado o planejamento mestre que irá nortear todos os envolvidos na produção e ao longo do seu desenvolvimento serão consideradas todas as variáveis e cenários pertinentes ao projeto.

Assim, a partir da elaboração do PSP, tem-se uma definição do estado futuro ideal facilitando a implementação de ferramentas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) as quais irão promover a busca do que foi planejado adotando práticas para minimizar a variabilidade de execução e acompanhar o fluxo no sequenciamento construtivo estipulado.

Dessa forma, entendendo o estado atual através de ferramentas de análise e visualização de processos e elaborando a projeção desejada para esse sistema irá conseguir-se-á ter a referência adequada para fazer o controle bem como obter os verdadeiros ganhos da aplicação do *Lean Construction*.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é elaborar o Projeto do Sistema de Produção (PSP) de obra residencial multifamiliar a ser executada em Santa Maria, interior do Rio Grande do Sul (RS), por meio da aplicação de ferramentas do *Lean Construction* e com o auxílio do *Building Information Modelling* (BIM).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar a análise do escopo de um projeto de construção civil de obra residencial e identificar o estado atual da cadeia de produção com o uso de ferramentas *Lean*;
- Desenvolver o projeto do sistema de produção baseado em zonas de trabalho e aplicar o princípio do tempo *takt* para o nivelamento da produção;
- Utilizar o *Building Information Modelling* (BIM) para facilitar a implementação das práticas do *Lean Construction*.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está subdividido em cinco capítulos: o primeiro é composto pela introdução, justificativa, objetivos (gerais e específicos) e sua estrutura. O segundo capítulo constitui-se da fundamentação teórica do trabalho, fazendo a revisão dos conceitos e princípios do *Lean Construction* e do BIM que serão utilizados para o alcance dos objetivos estipulados sendo dividido em 8 tópicos. O terceiro capítulo detalha a metodologia utilizada abordando o enquadramento metodológico do trabalho bem como os instrumentos empregados na pesquisa. O quarto capítulo apresenta os resultados do trabalho por meio das ferramentas do *Lean Construction* e suas aplicações no trabalho, além dos *softwares* e os modelos BIM utilizados. O quinto e último capítulo consiste nas Considerações Finais, ele discute a contribuição do trabalho e propõe ideias de futuros temas de pesquisa. Ao fim, constam as referências bibliográficas e apêndices.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A estrutura do capítulo está dividida em 10 tópicos que permitirão fundamentar o desenvolvimento do trabalho servindo de base teórica para o alcance dos objetivos propostos. A partir deles, teremos princípios, ferramentas e tecnologias que sustentarão o desenvolvimento da metodologia do trabalho e aplicação delas permitirá a obtenção dos resultados propostos.

### 2.1 LEAN CONSTRUCTION

O *Lean Construction* é um conjunto de princípios baseados no Sistema Toyota de Produção (STP), que utiliza da Teoria da *Lean Production* (Produção enxuta, tradução nossa) e que tem por objetivo aplicar a produção enxuta na construção civil. A introdução de sua formação está no trabalho de Koskela (1992) e traduzido no trabalho de Isatto et al. (2000), o desdobramento deles em 11 princípios para a gestão dos processos:

- a) Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
- b) Aumentar o valor do produto através da consideração sistemática dos requisitos dos clientes;
- c) Reduzir a variabilidade;
- d) Reduzir os tempos de ciclo;
- e) Simplificar através da redução de passos ou partes;
- f) Aumentar a flexibilidade de saída;
- g) Aumentar a transparência do processo;
- h) Focar o controle no processo global;
- i) Introduzir melhoria contínua no processo;
- j) Manter equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões;
- k) Fazer benchmarking.

A primeira consideração que deve ser feita antes de se pensar na aplicação dos princípios é o modelo de produção.

O modelo conceitual dominante na construção civil costuma definir a produção como um conjunto de atividade de conversão que transformam os insumos (materiais,informação) em produtos intermediários (por exemplo, alvenaria, estrutura, revestimentos) ou final (edificação). Por esta razão, ele é também denominado de modelo conversão, (ISATTO et al.,2000,p.6).

Enquanto isso, o modelo utilizado no processo da construção enxuta é baseado em atividades de processamento e de fluxo dentro das quais constam atividades que não agregam valor ao produto final e por esse motivo podem ser caracterizadas como perdas (ISATTO et al., 2000).

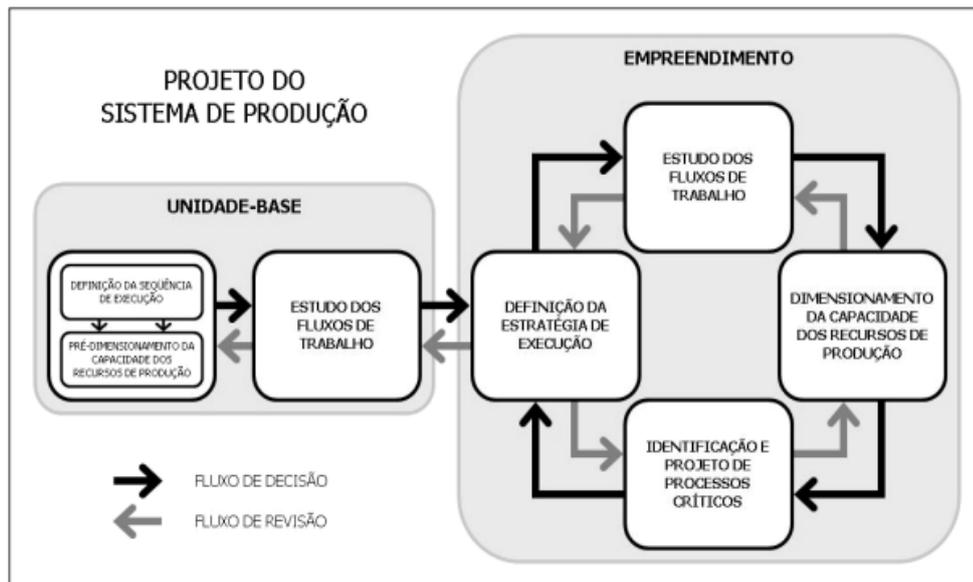
Analisando os princípios podemos retirar conceitos importantes para entendermos a aplicação da construção enxuta e que fundamentam a aplicação das ferramentas que visam garantir os benefícios da implementação desse sistema.

## 2.2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

O projeto do sistema de produção é considerada por Ballard et al.(2001) como a primeira tarefa que qualquer gestor de produção deve fazer, o qual transforma a organização geral em um projeto da cadeia produtiva a qual será definida por uma série de decisões e irão determinar a forma física como a obra será executada. Assim, a construção do PSP tem como principal objetivo é estabelecer uma forma estruturada e colaborativa de organizar a estratégia de produção.

O estudo de métodos para a elaboração do PSP é um assunto discutido no trabalho de Schramm (2004) em que ele propõe a definição de um modelo de PSP para a gestão de obras de empreendimentos habitacionais de interesse social, o qual pode-se observar na Figura 1.

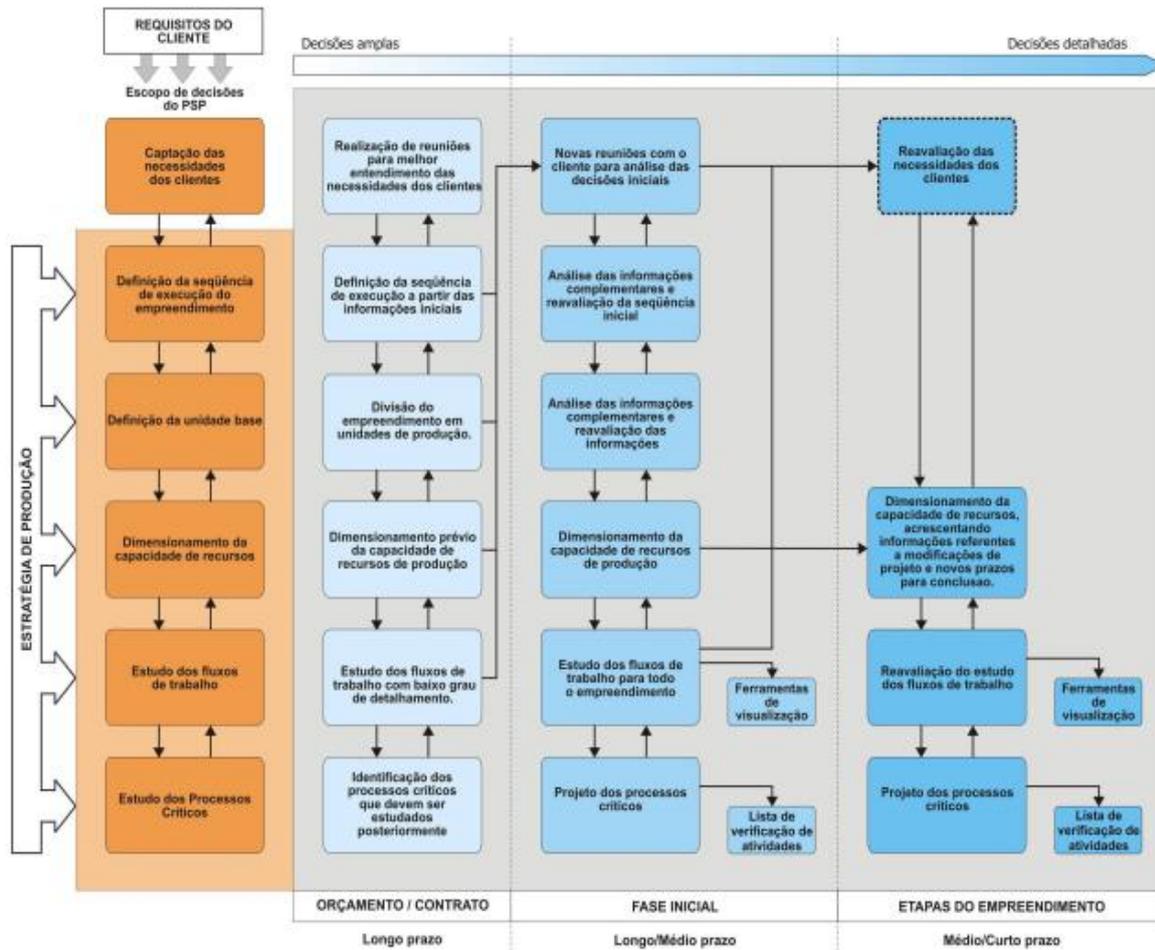
Figura 1 - Método de elaboração de PSP para empreendimentos habitacionais de interesse social



Fonte: (SCHRAMM, 2004, p.162 ).

Baseado no seu trabalho, Rodrigues (2006) fez o desenvolvimento de um estudo para a elaboração de um modelo de PSP para empreendimentos complexos, o qual pode-se analisar na Figura 2.

Figura 2 - Método de elaboração de PSP para empreendimentos complexos



Fonte: (RODRIGUES, 2006, p.141).

Os principais objetivos dos modelos são garantir a execução do empreendimento e atender os requisitos do cliente. Além disso, segundo Ballard et al. (2000) a implementação do PSP cria condições para ser executado o controle da produção e o aprimoramento do sistema.

Dessa forma, o PSP se torna uma ferramenta importante para garantir a antecipação das decisões relacionadas ao sistema de produção tentando garantir que estas possam ser efetivamente operacionalizadas antes do início da sua execução (SCHRAMM, 2006).

No PSP busca-se analisar aspectos como o projeto de layout, tamanho dos lotes, definição de ritmos e sincronização de atividades, planejamento de fluxos logísticos e inserção de folgas. O seu objetivo é tomar um conjunto de decisões

estratégicas que irão estabelecer cenários e alternativas para a execução das obras (SCHRAMM, 2006).

Destaca-se a importância da colaboração de todos os envolvidos na execução ao longo do seu processo de elaboração pois existe a necessidade de termos a compreensão e comprometimento de todos os envolvidos para que a execução do plano seja assertiva.

### **2.2.1 Identificação da unidade-base**

O objetivo desta etapa é dividir o empreendimento em módulos ou unidades de produção, facilitando a visualização das áreas a serem trabalhadas e a definição da estratégia de ataque (RODRIGUES, 2006). Assim, permite-se estabelecer lotes de produção que possuam repetição e volumes de trabalho similares para que a partir deles se estabeleçam os ciclos de produção.

### **2.2.2 Definição da sequência de execução do empreendimento**

A definição da sequência de execução da unidade-base, de acordo com os estudos, baseia-se na experiência da equipe de produção na execução de outros empreendimentos no passado (SCHRAMM, 2004).

Além desse aspecto, o objetivo é a definição de uma sequência de execução que facilite a obtenção de um fluxo contínuo dos processos, reduzindo o retrabalho e auxiliando na identificação de interdependências entre os processos (RODRIGUES, 2006).

Dessa forma, tem-se o detalhamento e a organização das atividades necessárias para a execução de cada unidade base de acordo com a relação lógica delas levando em consideração o método construtivo empregado no empreendimento.

### **2.2.3 Dimensionamento de capacidade dos recursos de produção**

Assim como na sequência de execução, a experiência da equipe de produção foi importante no pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção (SCHRAMM, 2004).

Nessa etapa, é importante a determinação de informações referentes à unidade-base como o tempo de execução dos principais processos, os recursos necessários para a sua execução (mão de obra, materiais e equipamentos) e a quantidade de lotes de produção que serão executados. (RODRIGUES, 2006). Para facilitar a visualização nesse processo, pode-se utilizar a elaboração de histogramas de mão de obra e equipamentos.

#### **2.2.4 Estudo dos fluxos de trabalho**

Nessa etapa, as decisões são tomadas em consonância à visão de fluxo (SCHRAMM, 2004). Busca-se dessa forma analisar identificar possíveis interferências nas definições estabelecidas levando em considerando aspectos como tempo, localização e interdependência da execução das atividades

Também se destaca a importância de estabelecer o dimensionamento dos lotes de produção e da sincronia entre os diferentes fluxos de trabalho para buscar o fluxo contínuo da produção.

Para facilitar a visão dos fluxos podemos verificar o emprego do planejamento de layout e logística tendo como o escopo a definição das instalações provisórias e estoques, posição de equipamentos de transporte vertical, análise dos principais fluxos de materiais e pessoas bem como do acesso à obra (materiais e pessoas).

#### **2.2.5 Identificação e projeto de processos críticos**

Como destacado por Schramm (2004) deve-se identificar processos críticos os quais devem ser detalhados e analisados com maior dedicação por poderem manifestar efeitos negativos ao cronograma das atividades como gargalos, restrições ou aumento do *lead time* (Tempo de ciclo, tradução nossa).

A identificação irá levar em consideração as etapas anteriores e o projeto dos processos críticos poderá representar mudanças no que já havia definido pois após a análise conjunta das decisões tomadas poderá ser percebida uma falta de sincronização dos processos, dificuldades de logísticas ou outros fatores que representem riscos para a produção.

### **2.2.6 Definição da estratégia de execução**

Segundo Schramm (2004), a definição da estratégia de execução do empreendimento é uma das etapas mais importantes na elaboração do PSP, e a sua definição determina em grande parte o desempenho do sistema de produção em termos de custo e prazo de execução. Dessa forma, o plano de ataque pode ser definido como as trajetórias das equipes durante a execução do sequenciamento dos processos definidos anteriormente.

A escolha dessa estratégia deve ser realizada após a análise de diferentes cenários os quais levaram em consideração aspectos como prazo, capacidade dos fornecedores e terceiros, gargalos de produção e a viabilidade financeira do plano escolhido.

Para a visualização dos cenários, destaca-se o emprego fundamental da linha de balanço para a visualização do sequenciamento das atividades, identificação das folgas do cronograma, percepção de diferenças de produtividade e possíveis lead times. O conceito da linha de balanço será abordado mais a fundo posteriormente neste trabalho.

### **2.2.7 Ganhos do PSP**

Segundo os estudos de Schramm (2004) e Rodrigues (2006), a elaboração do PSP possibilita uma melhora na comunicação e relacionamento entre construtoras, fornecedores e terceiros uma vez que através da participação de todos no processo de elaboração fica mais transparente o planejamento de execução entre os envolvidos permitindo verificar um ganho de comprometimento com o que foi planejado.

Além disso, a formalização de elementos como sequenciamento construtivo, planejamento de longo prazo e cenários de execução facilitam o diretamente na implementação de melhorias e no processo de tomada de decisão.

### 2.3 Lean Construction: o princípio do Takt por Oliveira (2018)

No livro *Lean Construction*, o princípio do Takt (2018), Oliveira identifica cinco abordagens para a implementação da "construção enxuta", como pode-se observar na Figura 3.

Figura 3 - Etapas de implementação do *Lean Construction*



Fonte: (OLIVEIRA, 2018, p.102).

As cinco abordagens fazem parte de uma metodologia prática apresentada através de exemplos práticos que contribuem para a visualização de ferramentas e conceitos essenciais no processo de implementação do *Lean Construction*.

#### 2.3.1 Análise de escopo

A primeira abordagem definida como análise de escopo tem por objetivo entender a obra e nela ele considera relevante a observação dos seguintes pontos: análise da Estrutura Analítica de Projeto (EAP), análise de contratos (clientes e fornecedores), mensuração de quantitativos, análise do orçamento e análise da previsão de mão de obra e equipamentos.

Nessa etapa, Oliveira (2018) destaca a importância de entender o projeto que será executado, organizá-lo conforme as principais atividades que compõem ele, entender como se dá a relação com os fornecedores, quais são os requisitos dos clientes e principalmente tomar conhecimento dos quantitativos de cada lote de produção e a disponibilidade mão de obra e equipamentos para executar cada atividade.

### **2.3.2 Planejamento Puxado**

A segunda abordagem chamada de “Planejamento Puxado” busca inserir a variável tempo e construir o plano mestre de produção. São consideradas atividades para a elaboração do plano mestre: identificação das fases e marcos da obra, definição dos entregáveis no tempo, identificação das restrições, análise de cenários da obra no tempo e análise logística.

Nesse sentido, Oliveira (2018) propõe o detalhamento do planejamento de longo prazo para a permitir a aplicação do conceito de “planejamento puxado” o qual consiste em uma vez estabelecida a demanda do cliente ajustar a produção para que se possa alcançar o prazo estabelecido.

### **2.3.3 O princípio do *Takt***

A terceira abordagem detalha o princípio do *Takt* e é dividida em 8 etapas:

- 1) Divisão em partes e definição do tamanho de lote
- 2) Identificação do sentido construtivo
- 3) Encadeamento das atividades
- 4) Definição do quantitativo
- 5) Identificação das equipes mínimas
- 6) Cálculo do *takt time*
- 7) Ajuste das equipes por atividade
- 8) Elaboração da programação

Neste capítulo, Oliveira (2018) explica a implementação do conceito *takt time* a qual ele considera como ferramenta essencial para o alcance do nivelamento da produção e obtenção do fluxo contínuo.

### **2.3.4 Gestão, controle e melhoria contínua**

A quarta e a quinta abordagem têm como objetivo garantir o funcionamento do planejamento elaborado, simplificar a rotina dos envolvidos e facilitar a tomada de decisões bem como garantir a evolução constante do sistema.

Oliveira (2018) destaca a importância das últimas abordagens para a manutenção do sistema implementado uma vez que os ganhos da produção enxuta exigem disciplina para que os princípios sejam aplicados constantemente.

## **2.4 ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE ZONAS DE TRABALHO**

O *Location Based-Management* (LBM, Gerenciamento baseado em localização, tradução nossa) é uma abordagem que permite identificar locais para relacionar o planejamento e controle das atividades a serem executadas. Segundo Vargas (2018) ela é uma ampliação da utilização da linha de balanço a qual já é amplamente utilizada na definição de cronogramas de longo prazo de obras na construção civil.

Em seu estudo, ele define um método que se baseia na utilização do LBM para o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Dessa forma, ele define o conceito de PCP baseado em zonas de trabalho.

A partir dessa abordagem, será possível identificar a localização das diferentes unidades-base e relacionar as atividades que serão desenvolvidas adequadamente à localização em que será desenvolvida.

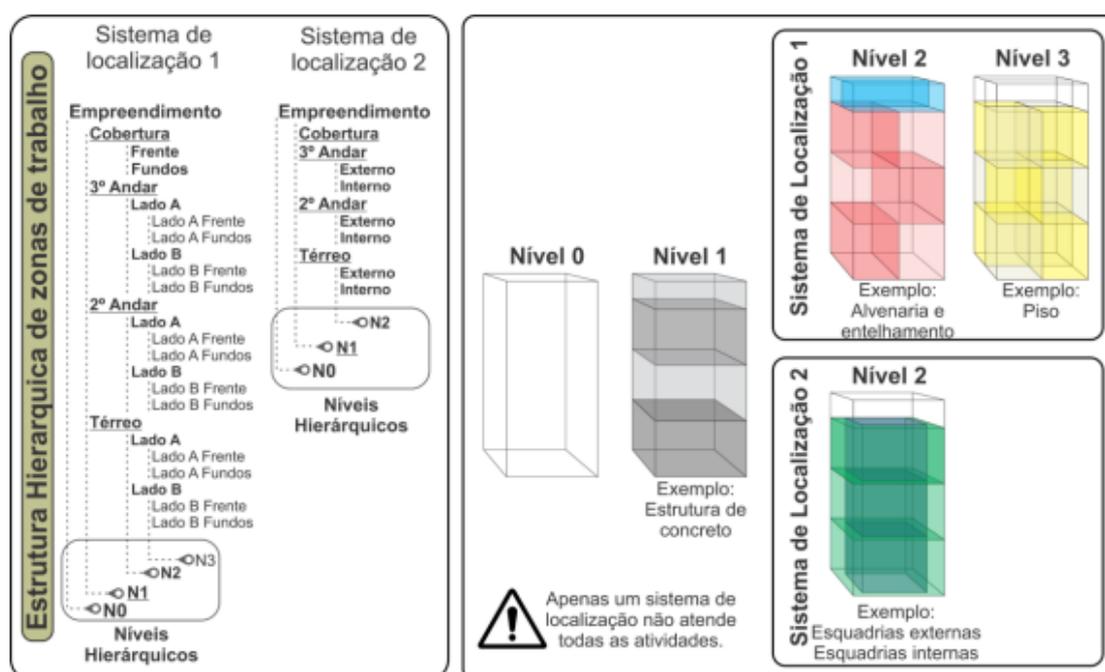
Durante a elaboração do PSP, recomenda-se a utilização da estrutura hierárquica de localização a qual é definida a partir de subdivisões sucessivas das zonas de trabalho do projeto em zonas menores, onde a cada subdivisão gera mais um nível hierárquico, (VARGAS, 2018)

Dessa forma, Vargas (2018) define diretrizes para auxiliar na definição da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho (EHZT):

- Qual é a tipologia e a compartimentação do empreendimento?
- Quais as soluções construtivas utilizadas no empreendimento?
- Qual é o grau de repetição que o empreendimento apresenta?
- Quais tarefas podem utilizar uma mesma divisão de zonas de trabalho?
- Como são realizadas as medições dos subempreiteiros e órgãos financiadores?
- A empresa vai integrar o controle de qualidade ao controle de medição

A visualização da organização das diretrizes para a concepção da EHZT pode ser verificada na Figura 4.

Figura 4 - Exemplificação da Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho



Fonte: (VARGAS, 2018, p.146).

A partir dessas diretrizes, é possível estabelecer uma EHZT que atenda as demandas de gerenciamento do empreendimento a ser executado permitindo localizar e relacionar todas as atividades às zonas de trabalho com a precisão necessária para as técnicas de planejamento e controle utilizadas.

## 2.5 LINHA DE BALANÇO

O método da linha de balanço resulta em uma ferramenta de planejamento que permite o fácil reconhecimento de interferências, identificação do sequenciamento construtivo, caminho do processo, tempos de ciclo, lead times e buffers (KEMMER, HEINECK E ALVES, 2008).

Ela consiste em dois eixos cartesianos X e Y em que se pode verificar a localização e o tempo em que cada atividade será executada. Sua elaboração tem uma aplicação validada em obras com caráter repetitivo, mas também é utilizada em obras não repetitivas através da divisão da obra em elementos repetitivos.

## 2.6 TAKT TIME

O *takt time* é uma ferramenta essencial do STP. Segundo Santos et al. (2021) o *takt time* deve ser definido com base na demanda do mercado e no tempo disponível para produção e seu principal objetivo é garantir que o ritmo de produção consiga atender a demanda dos clientes.

O seu cálculo se dá através da Equação 1.

Equação 1 - Cálculo do *takt time*

$$\text{Takt time} = \text{tempo disponível de produção} / \text{demanda do cliente}$$

Fonte: Adaptado de (SANTOS et al., 2021)

A partir do cálculo do *takt time*, busca-se que todas as atividades que fazem parte da produção da unidade-base estipulada consigam atender a esse tempo de ciclo, pois assim teremos um fluxo contínuo na produção uma vez que ela estará ritmada tendo como tempo de ciclo o *takt time*.

## 2.7 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) é um processo essencial para o gerenciamento das atividades a serem executadas, diminuir a variabilidade e a incerteza dos planos estabelecidos. É comum ser desenvolvido através de ferramentas e sistemas que buscam organizar e difundir as informações do que precisa ser executado além de acompanhar a sua execução de fato.

Dentro desse contexto, o *Last Planner System* (LPS) consta como uma das principais metodologias implementadas para o processo de PCP. Idealizado no estudo de Ballard et al. (2000), o LPS busca estabelecer a hierarquização do planejamento através de níveis de longo prazo, médio prazo e curto prazo. Em cada nível, busca-se informações e detalhamentos específicos para garantir o sucesso da execução das atividades. No longo prazo, temos o estabelecimento do plano mestre. No médio prazo, temos a identificação das restrições e a busca por removê-las garante o fluxo contínuo das atividades. No curto prazo, o foco está em estabelecer os pacotes de trabalho que estão prontos para serem executados e criar o comprometimento para a execução dos mesmos.

## 2.8 BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

O *Building Information Modelling* (BIM) segundo Eastman et al. (2008) se refere a um conjunto de aplicações de ferramentas, processos e tecnologias que criam modelos digitais capazes de incorporar informações relevantes para o planejamento, o desempenho, a construção e a operação de edifícios.

Sua aplicação é estudada em diversos contextos do desenvolvimento de projetos e para compreender melhor sua utilização precisamos revisitar conceitos que estão incorporados na sua concepção.

### 2.8.1 Parametrização

A utilização da parametrização no BIM permite o estabelecimento de regras que permitem a incorporação de informação nos objetos e elementos construtivos utilizados no desenvolvimento de modelos de uma forma que permita a atualização

automática ao longo das alterações realizadas ao longo da elaboração do projeto pelos projetistas. Essa atualização automática dos objetos é essencial para a produtividade da modelagem utilizando o BIM (EASTMAN et al., 2008).

Além da automatização, o processo de parametrização facilita a entrada e saída de informações no modelo BIM, as quais poderão ser utilizadas para estimativas de custos, simulações construtivas e análises de diferentes aspectos.

### 2.8.2 Quantificação

A quantificação é um processo essencial para a elaboração de cronogramas e orçamentos, quanto maior a sua precisão mais assertivos serão esses documentos. Dessa forma, a utilização do BIM tem um papel importante ao permitir que através dos modelos desenvolvidos seja realizada a quantificação.

Como destacado por Eastman et al. (2008), a quantificação pode ocorrer através da exportação das quantidades para um *software* especializado em estimativa ou através de links diretos que podem ser feitos através de plug-ins entre o modelo BIM e o *software* de estimativa havendo assim a integração direta entre os dois.

## 2.9 INTERFACE ENTRE AS PRÁTICAS LEAN E O BIM

Sacks et al. (2010) destaca que Lean Construction e BIM não são dependentes um do outro, afinal o Lean pode ser adotado sem o BIM e o BIM pode ser adotado sem o *Lean*. Entretanto, ele defende a hipótese de que a aplicação completa do potencial de ambas as ferramentas só poderá ser alcançada se a implementação for integrada.

Complementando para esse tópico Mariz e Picchi (2021) buscaram analisar as sinergias entre a aplicação do *Lean* e do BIM na construção civil e evidenciaram, através de uma revisão sistemática de literatura, os resultados das tabelas sobre a aplicação conjunta de ferramentas do *Lean* auxiliadas pelo BIM como pode-se observar na Figura 5.

Figura 5 - Estudo do uso das aplicações do BIM para facilitar a implementação do *Lean Construction*

Number of papers	Degree of reported applications of BIM functionalities			
	Extensively explored	Reasonably explored	Preliminarily explored	Not explored
	43	7 to 9	1 or 2	0
Lean practices	Last planner system	Line of balance	VSM	Production cell
		Andon	Poka-yoke	Standardised work
		Kanban	Small batch	Heijunka
			Takt time	5S
			Kaizen event	Daily management
Number of lean practices	1	3	5	5

Fonte: (MARIZ E PICCHI, 2021, p. 317).

Em suas conclusões, Mariz e Picchi (2021) discutem que embora seja percebida a aplicação de ambas as abordagens em conjunto, o BIM ainda é pouco utilizado para auxiliar o *Lean*, o que pode contribuir para que princípios fundamentais do *Lean* não sejam compreendidos ou aplicados.

Dessa forma, aproveitar a sinergia entre o *Lean* e o BIM nos processos de planejamento, logística, execução e controle dos empreendimentos pode contribuir para que os princípios da produção enxuta sejam incorporados plenamente no sistema de produção e para o aumento da eficiência e das aplicações do BIM.

### 3 METODOLOGIA

Nesta seção, apresenta-se o enquadramento metodológico do presente estudo. Nesse contexto, quanto a sua natureza o estudo possui caráter aplicado, visto que busca solucionar uma problemática específica de uma área do conhecimento (GIL, 2007). Além disso, sua abordagem caracteriza-se como qualitativa utilizando do procedimento técnico elencado como estudo de caso tendo como base o caráter qualitativo dos estudos de caso (MIGUEL et al.,2012).

A metodologia do estudo de caso será apresentada a seguir.

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de realizar a aplicação dos princípios da construção enxuta em uma obra de construção civil, optou-se pela elaboração de um PSP em um projeto que estava em fase de planejamento para utilizá-lo como um estudo de caso.

A utilização da metodologia e dos conhecimentos explorados na fundamentação teórica foram o que nortearam a escolha por um estudo de caso o qual seria capaz de exemplificar o emprego da pesquisa realizada bem como validar os resultados propostos pelos autores com a sua aplicação.

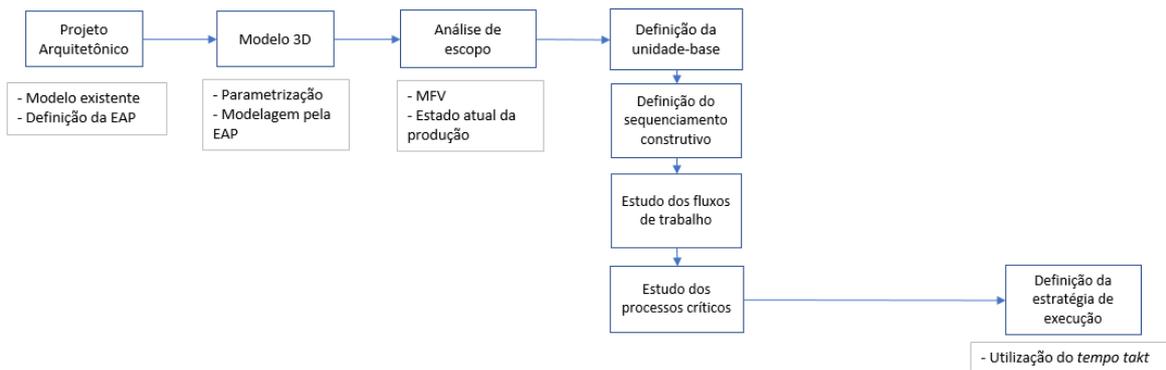
O projeto escolhido consiste em um empreendimento vertical multifamiliar de 17 pavimentos que irá ser executado na cidade de Santa Maria - RS, seu sistema construtivo será de estrutura de concreto armado com lajes maciças e o padrão de acabamento adotado pela construtora é alto padrão.

A edificação utiliza de 3 pavimentos-tipo ao longo da sua composição arquitetônica, assim com o intuito de padronizar os quantitativos considerados tendo em vista que a área total dos pavimentos e das unidades se aproximam optou-se pela utilização do pavimento-tipo que se repete do 4º a 9º pavimento para a quantificação e análise na elaboração do PSP.

A obra encontrava-se na etapa de realização da terraplanagem e fundação ao início do desenvolvimento do PSP, portanto focou-se nas etapas que iniciarão logo após a finalização do trabalho considerando a data 02/05/2022.

As etapas para a elaboração do estudo de caso estão definidas conforme a Figura 6.

Figura 6 - Etapas de elaboração do PSP para o estudo de caso



Fonte: o autor

Pode-se perceber na Figura 6 que cada etapa do desenvolvimento do estudo de caso possui elementos específicos os quais serão detalhados no próximo capítulo por meio da demonstração da sua aplicação.

## 4 RESULTADOS

O presente capítulo focará na elaboração dois tópicos principais: a realização da análise de escopo do projeto e a elaboração do Projeto do Sistema de Produção (PSP). Ao longo das suas seções, poderá ser verificada a aplicação da fundamentação teórica e da metodologia abordada nos capítulos anteriores.

A análise de escopo buscará representar o estado atual da cadeia de produção das obras da construtora permitindo identificar pontos de melhoria e informações relevantes a serem consideradas na elaboração do PSP.

Na seção Projeto do Sistema de Produção (PSP) será possível verificar como foram executadas as suas 6 etapas de elaboração permitindo identificar como foram utilizados os *softwares* que possibilitaram a aplicação dos princípios do *Lean Construction* e o uso do *Building Information Modelling* (BIM) conforme já apresentado na Figura 6.

### 4.1 ANÁLISE DE ESCOPO

A análise de escopo tem como objetivo entender a situação atual da cadeia produtiva e identificar quais são os processos envolvidos na execução do projeto, como eles estão sendo desenvolvidos, quais os principais gargalos de produção, como se estabelecem as relações entre as equipes envolvidas na execução e demais aspectos relevantes para o planejamento da obra.

Buscou-se analisar a Estrutura Analítica de Projeto (EAP) a qual leva em consideração todos os serviços/etapas a serem executados para a elaboração do produto final.

Após elencar todos os serviços, foi elaborada a análise dos contratos no qual focou-se em entender o tipo de contratação da mão-de-obra e a forma de pagamento pelo serviço como pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 - Análise dos contratos e forma de pagamento dos serviços

(continua)

<b>Serviço</b>	<b>Tipo de mão-de-obra</b>	<b>Forma de pagamento</b>
Estrutura	Própria	Salário fixo + prêmio por produção
Alvenaria	Própria	Empreitada por produção
Caixas e eletrodutos	Terceirizada	Contrato por empreitada
Pluvial e esgoto	Terceirizada	Contrato por empreitada
Instalação de gás	Terceirizada	Empreitada por produção
Shafts	Terceirizada	Empreitada por produção
Reboco de argamassa	Terceirizada	Empreitada por produção
Reboco de gesso	Terceirizada	Empreitada por produção
Hidráulica	Terceirizada	Contrato por empreitada
Impermeabilização WC	Terceirizada	Empreitada por produção
Fiação	Terceirizada	Contrato por empreitada
Contrapiso	Terceirizada	Empreitada por produção
Revestimento Paredes	Terceirizada	Empreitada por produção
Forro	Terceirizada	Empreitada por produção
Porcelanato	Terceirizada	Empreitada por produção
Massa corrida	Terceirizada	Número de funcionários pelo contrato por empreitada
Pintura 1ª de mão	Terceirizada	Número de funcionários pelo contrato por empreitada
Portas e laminado	Terceirizada	Empreitada por produção
Rodapés e guarnições	Terceirizada	Empreitada por produção
Louças e metais	Terceirizada	Contrato por empreitada
Quadros, interruptores e ventokits	Terceirizada	Contrato por empreitada
Pintura 2ª de mão	Terceirizada	Número de funcionários pelo contrato por empreitada
Limpeza final	Terceirizada	Empreitada por produção
Reboco externo	Terceirizada	Empreitada por produção
Pastilha	Terceirizada	Empreitada por produção

Quadro 2 - Análise dos contratos e forma de pagamento dos serviços

(continuação)

<b>Serviço</b>	<b>Tipo de mão-de-obra</b>	<b>Forma de pagamento</b>
Churrasqueira	Terceirizada	Contrato por empreitada

Fonte: o autor

Entende-se a partir do Quadro 1, a existência de três tipos de forma de contratação de empresas terceirizadas: empreitada por produção, contrato por empreitada e número de funcionários pelo contrato por empreitada.

Destaca-se nesse ponto que nem todos os sistemas de pagamentos estimulam a produtividade uma vez que no sistema de contrato por empreitada não existe necessariamente um prazo de início e término de cada atividade nem a medição para relacionar com a finalização de serviços específicos.

Para analisar a relevância desses aspectos, buscou-se reconhecer quais as atividades já representaram um gargalo de produção, entendendo como gargalo toda atividade que não cumpriu a programação planejada e causou atraso na liberação de outro serviço, e relacionar com a forma de pagamento visando identificar se a forma de contratação pode estar relacionada aos gargalos, como pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 3 - Análise da forma de pagamento dos serviços com a representação de gargalo de produção na execução dos empreendimentos

(continua)

<b>Serviço</b>	<b>Forma de pagamento</b>	<b>Já representou gargalo de produção?</b>
Estrutura	Salário fixo + prêmio por produção	Sim
Alvenaria	Empreitada por produção	Sim
Caixas e eletrodutos	Contrato por empreitada	Sim
Pluvial e esgoto	Contrato por empreitada	Não

Quadro 4 - Análise da forma de pagamento dos serviços com a representação de gargalo de produção na execução dos empreendimentos

(continuação)

<b>Serviço</b>	<b>Forma de pagamento</b>	<b>Já representou gargalo de produção?</b>
Instalação de gás	Empreitada por produção	Não
Shafts	Empreitada por produção	Não
Reboco de argamassa	Empreitada por produção	Não
Reboco de gesso	Empreitada por produção	Não
Hidráulica	Contrato por empreitada	Não
Impermeabilização WC	Empreitada por produção	Sim
Fiação	Contrato por empreitada	Sim
Contrapiso	Empreitada por produção	Não
Revestimento Paredes	Empreitada por produção	Não
Forro	Empreitada por produção	Não
Porcelanato	Empreitada por produção	Não
Massa corrida	Número de funcionários pelo contrato por empreitada	Não
Pintura 1ª de mão	Número de funcionários pelo contrato por empreitada	Não
Portas e laminado	Empreitada por produção	Sim
Rodapés e guarnições	Empreitada por produção	Sim
Louças e metais	Contrato por empreitada	Não
Quadros, interruptores e ventokits	Contrato por empreitada	Sim

Quadro 5 - Análise da forma de pagamento dos serviços com a representação de gargalo de produção na execução dos empreendimentos

(conclusão)

<b>Serviço</b>	<b>Forma de pagamento</b>	<b>Já representou gargalo de produção?</b>
Pintura 2ª de mão	Número de funcionários pelo contrato por empreitada	Sim
Limpeza final	Empreitada por produção	Não
Reboco externo	Empreitada por produção	Sim
Pastilha	Empreitada por produção	Sim
Churrasqueira	Contrato por empreitada	Sim

Fonte: o autor

Analisando o Quadro 2, percebeu-se que tanto empreitadas por produção quanto contrato por empreitada já representaram gargalos de produção. Dessa forma, podemos verificar a necessidade de programar e controlar a execução das atividades de ambas as formas de contratação.

A previsão de utilização de mão-de-obra e equipamentos é importante para a concepção do planejamento logístico da execução. Além desse aspecto, a análise do fornecimento de materiais para os principais serviços permite identificar as necessidades de estoque fixos e temporários ao longo da execução, os quais podem ser planejados para evitar desperdícios. A análise pode ser verificada na Tabela 3.

Quadro 6 - Análise dos recursos necessários para transporte e material

(continua)

<b>Serviço</b>	<b>Serventes</b>	<b>Equipamentos de transporte vertical</b>	<b>Equipamentos de transporte horizontal</b>	<b>Material</b>
Estrutura	1 servente a cada 2 carpinteiros	Mini grua/elevador	Nenhum	Fabricado em obra

Quadro 7 - Análise dos recursos necessários para transporte e material

(continuação)

<b>Serviço</b>	<b>Serventes</b>	<b>Equipamentos de transporte vertical</b>	<b>Equipamentos de transporte horizontal</b>	<b>Material</b>
Alvenaria	1 servente por pedreiro	Mini grua/elevador	Paleteira	Fornecido semanalmente/Estocado
Caixas e eletrodutos	Não	Elevador	Carrinho	Estocado
Pluvial e esgoto	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Instalação de gás	Não	Elevador	Nenhum	Responsabilidade do terceiro
Shafts	Não	Mini grua/Elevador	Paleteira	Estocado
Reboco de argamassa	Não	Elevador	Paleteira	Fornecido diariamente ou semanalmente com silo
Reboco de gesso	Não	Elevador	Paleteira	Responsabilidade do terceiro/estocado
Hidráulica	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Impermeabilização WC	Não	Elevador	Carrinho de duas rodas	Responsabilidade do terceiro/Estocado
Fiação	Não	Elevador	Carrinho	Estocado
Contrapiso	1 servente por pedreiro	Elevador	Carrinho	Fornecido diariamente ou fabricado em obra
Revestimento Paredes	Não	Elevador	Carrinho de duas rodas	Estocado
Forro	Não	Elevador	Nenhum	Responsabilidade do terceiro/estocado
Porcelanato	Não	Elevador	Paleteira	Estocado
Massa corrida	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Pintura 1ª de mão	Não	Elevador	Nenhum	Estocado

Quadro 8 - Análise dos recursos necessários para transporte e material

(conclusão)

<b>Serviço</b>	<b>Serventes</b>	<b>Equipamentos de transporte vertical</b>	<b>Equipamentos de transporte horizontal</b>	<b>Material</b>
Portas e laminado	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Rodapés e guarnições	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Louças e metais	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Quadros, interruptores e ventokits	Não	Elevador	Carrinho	Estocado
Pintura 2ª de mão	Não	Elevador	Nenhum	Estocado
Limpeza final	Não	Elevador	Nenhum	Responsabilidade do terceiro/Estocado
Reboco externo	1 servente por dupla	Elevador	Carrinho	Estocado/fornecido diariamente ou estocado por silo
Pastilha	1 servente por dupla	Elevador	Carrinho	Estocado
Churrasqueira	Não	Elevador	Nenhum	Responsabilidade do terceiro/Estocado

Fonte: o autor

Após a análise do Quadro 3, pode-se verificar a necessidade de um planejamento na contratação de serventes conforme o início dos serviços, a possibilidade de manter o transporte da estrutura através da mini grua, a dependência da utilização do elevador na execução dos serviços de instalações e acabamentos bem como o fluxo de utilização de transporte horizontal dividido entre paleteiras, carrinhos de mão e carrinhos de duas rodas.

Analisando o fornecimento de materiais, é possível verificar também a grande quantidade de materiais estocados no canteiro de obra, os quais representam a

ocupação de uma área considerável e fazendo necessário a execução de um projeto de layout para minimizar tempos de transporte.

Nota-se também o fluxo diário de argamassas e a entrega semanal de blocos de concreto que representam estoques temporários e transportes verticais constantes para o seu uso no tempo necessário.

## 4.2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

Os modelos elaborados por Schramm (2004) e Rodrigues (2006) foram utilizados com base para a adaptação da construção do PSP, a partir deles foram desenvolvidas a sequência de etapas as quais permitem organizar e visualizar todo o sistema de produção.

### 4.2.1 Definição da unidade-base

A definição da unidade-base do empreendimento é essencial para aplicar os princípios da produção enxuta, a divisão do projeto em pequenas partes repetitivas é destacada por Oliveira (2018) e é parte essencial dos métodos para a elaboração do PSP.

Para se realizar a divisão das unidades-base se fez uso da EHZT conforme o trabalho de Vargas (2018). Nela, buscou-se fazer a divisão do projeto já pensando tanto nos planejamentos de longo prazo quanto no médio e curto prazo. A EHZT permitiu organizar e tornar lógico como se dará a estrutura do PCP ao longo da execução do empreendimento.

A EHZT do estudo de caso pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Estrutura Hierárquica de Zonas de Trabalho do estudo de caso

Estrutura/Acabamento			
Longo prazo	Médio/Curto prazo		
3º pavimento	301	302	303
4º pavimento	401	402	403
5º pavimento	501	502	503
6º pavimento	601	602	603
7º pavimento	701	702	703
8º pavimento	801	802	803
9º pavimento	901	902	903
10º pavimento	1001	1002	1003
11º pavimento	1101	1102	1103
12º pavimento	1201	1202	1203
13º pavimento	1301	1302	1303
14º pavimento	1401	1402	
15º pavimento	1501	1502	
16º pavimento	1601	1602	
17º pavimento/Cobertura			

Reboco externo/Pastilha						
Longo prazo	Médio/Curto prazo					
Fachada Leste	Pano 1	Pano 2	Pano 3	Pano 4	Pano 5	Pano 6
Fachada Sul	Pano 1	Pano 2				
Fachada Oeste	Pano 1	Pano 2	Pano 3	Pano 4	Pano 5	Pano 6
Fachada Norte	Pano 1	Pano 2				

Fonte: o autor

No PSP, o foco se dará no longo prazo, dessa forma, a unidade-base para as etapas de estrutura e acabamento serão os pavimentos e a etapa de revestimento externo serão as fachadas.

Assim, no *software Agilean Planner Starter*, foi acrescentado o sistema de localização conforme a EHZT para dar base para a construção do PSP. A inserção acontece diretamente na aba Tipologia utilizando a ferramenta Adicionar Local como observado na Figura 8.

Figura 8 - Sistema de localização utilizado no *software Agilean Planner Starter*

Nome	Data de Início	Data de Término	Pulmão
ESTRUTURA/ACABAMENTO			0 dias
3º pavimento			
4º pavimento			
5º pavimento			
6º pavimento			
7º pavimento			
8º pavimento			
9º pavimento			
10º pavimento			
11º pavimento			
12º pavimento			
13º pavimento			
14º pavimento			
15º pavimento			
16º pavimento			

Fonte: o autor

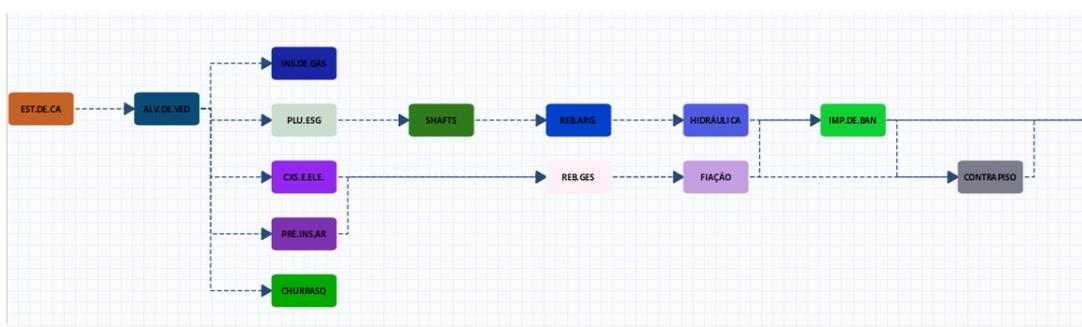
## 4.2.2 Definição da sequência de execução

A sequência de execução do empreendimento leva em consideração as características do sistema construtivo utilizado e a experiência anterior da equipe de produção elencando as atividades conforme os seus pré-requisitos de execução criando relações de antecessora e predecessora entre as atividades.

Existem atividades que não representarão dependência direta com demais atividades, mas o tempo ideal de sua realização está relacionado a algum aspecto específico da obra visando evitar danificações ou insegurança em relação aos materiais utilizados.

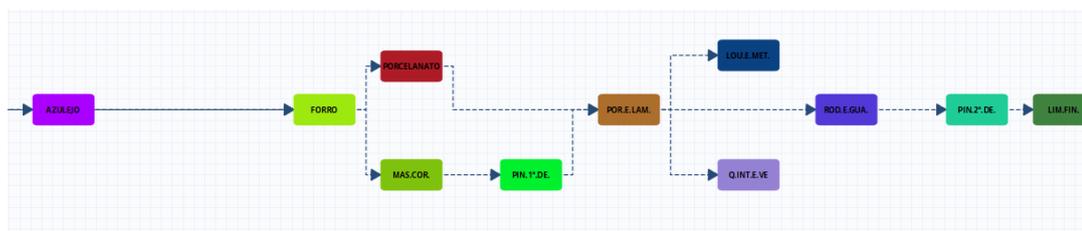
Podemos ver nas Figuras 9, 10 e 11, a definição da sequência executiva do estudo de caso feita utilizando o *software Agilean Planner Starter* na versão gratuita.

Figura 9 - Definição da sequência executiva do estudo caso - etapa Estrutura



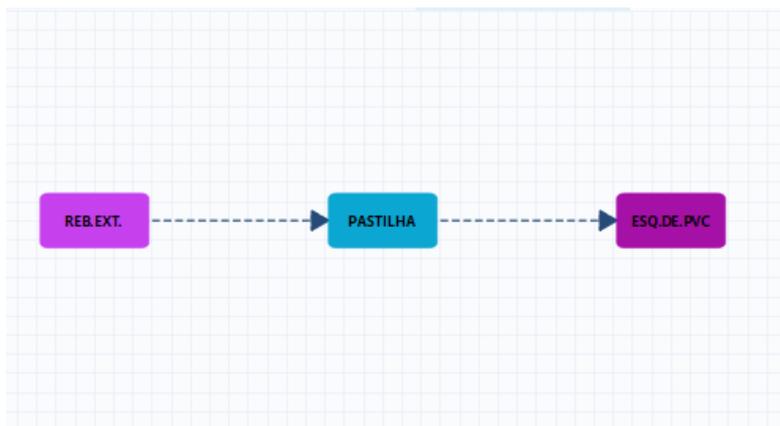
Fonte: o autor

Figura 10 - Definição da sequência executiva do estudo caso - etapa Acabamentos



Fonte: o autor

Figura 11 - Definição da sequência executiva do estudo de caso - Fachada



Fonte: o autor

Na figura 9, verifica-se o sequenciamento de atividades relacionadas à estrutura e instalações que são necessárias para o início da etapa de acabamentos do empreendimento, enquanto, na figura 10 observa-se o sequenciamento das etapas de acabamento e finalização da obra.

Na figura 11, pode-se acompanhar a definição do sequenciamento do revestimento externo do empreendimento o qual é essencial pois sua finalização implica na liberação de serviços de acabamento internos.

O *software Agilean Starter Planner* permite representar redes diferentes que podem utilizar de sistema de localizações diferentes o que é o caso do revestimento externo que terá zonas de trabalho diferentes da sequência construtiva de estrutura e acabamentos internos.

#### 4.2.3 Pré-dimensionamento da capacidade de recursos

O pré-dimensionamento da capacidade de recursos levou em consideração a base de dados de outro empreendimento em execução da mesma construtora que utiliza o mesmo sistema construtivo e com terceiros que participam frequentemente das obras realizadas.

A base de dados utilizou do controle das informações sobre a duração média do serviços, o tamanho da equipe utilizada e o quantitativo do empreendimento anterior para fazer o cálculo da Razão Unitária de Produção (RUP) o qual consiste

em um indicador padronizado que permite o cálculo da duração e equipe mínima para um quantitativo variável. A base de dados pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Base de dados de produtividade dos empreendimentos da construtora

Processos Chaves	Quantitativo	Unidade	Duração média	Tamanho da equipe	Horas por dia	Hora-homem total	RUP
Estrutura	565.08	m <sup>2</sup>	20 dias	12	8 horas/dia	1920 horas	3.40 hh/m <sup>2</sup>
Alvenaria	890	m <sup>2</sup>	20 dias	2	8 horas/dia	320 horas	0.36 hh/m <sup>2</sup>
Caixas, eletrodutos e pré-ar	4	apto	10 dias	2	8 horas/dia	160 horas	40.00 hh/m <sup>2</sup>
Coluna pluvial/esgoto	4	apto	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	20.00 hh/apto
Instalação de gás	4	apto	3 dias	2	8 horas/dia	48 horas	12.00 hh/apto
Shafts	11	unid	4 dias	1	8 horas/dia	32 horas	2.91 hh/m <sup>2</sup>
Reboco de argamassa	476.54	m <sup>2</sup>	15 dias	2	8 horas/dia	240 horas	0.50 hh/m <sup>2</sup>
Reboco de gesso	871	m <sup>2</sup>	10 dias	3	8 horas/dia	240 horas	0.28 hh/apto
Hidráulica/Esgoto	4	apto	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	20.00 hh/m <sup>2</sup>
Impermeabilização de banheiros	4	apto	4 dias	1	8 horas/dia	32 horas	8.00 hh/und
Fiação	4	apto	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	20.00 hh/m <sup>2</sup>
Contrapiso	392.05	m <sup>2</sup>	10 dias	1	8 horas/dia	80 horas	0.20 hh/m <sup>2</sup>
Revestimento Paredes	476.54	m <sup>2</sup>	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	0.17 hh/m <sup>2</sup>
Forro	392.05	m <sup>2</sup>	10 dias	2	8 horas/dia	160 horas	0.41 hh/und
Porcelanato	263.63	m <sup>2</sup>	15 dias	1	8 horas/dia	120 horas	0.46 hh/m <sup>2</sup>
Pintura 1ª de mão	1263.05	m <sup>2</sup>	5 dias	3	8 horas/dia	120 horas	0.10 hh/aptos
Portas e laminados	128.42	unid/m <sup>2</sup>	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	0.62 hh/m <sup>2</sup>
Louças e metais	4	apto	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	20.00 hh/und
Quadros, interruptores e ventokits	4	apto	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	20.00 hh/und
Pintura 2ª de mão	1263.05	m <sup>2</sup>	5 dias	3	8 horas/dia	120 horas	0.10 hh/m <sup>2</sup>
Limpeza final	4	apto	5 dias	4	8 horas/dia	160 horas	40.00 hh/und
Reboco externo	210.7	m <sup>2</sup>	10 dias	2	8 horas/dia	160 horas	0.76 hh/aptos
Pastilha	210.7	m <sup>2</sup>	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	0.38 hh/m <sup>2</sup>
Esquadria de PVC	50	unid	5 dias	2	8 horas/dia	80 horas	1.60 hh/m <sup>2</sup>

Fonte: o autor

Nesse ponto, também foi necessário já possuir uma clareza maior sobre os quantitativos do projeto, para isso utilizou-se do modelo arquitetônico elaborado no *software Revit*. O foco do modelo original estava na aprovação do projeto na prefeitura, na elaboração das plantas arquitetônicas executivas e na visualização dos revestimentos externos para posterior produção de material divulgativo.

Levando em consideração esses aspectos, optou-se por utilizar do modelo 3D existente para a quantificação do projeto por meio da parametrização e utilização do *software NavisWorks Manage*.

#### 4.2.3.1 Modelo 3D

O modelo 3D foi elaborado no *software Revit* levando em consideração a técnica de modelagem conhecida como parede cebola. Nela, se faz o desenvolvimento do modelo arquitetônico fazendo uso de diferentes camadas para a representação dos diferentes materiais que serão representados. Essa técnica foi

priorizada devido a possibilitar a divisão direta dos materiais que representarão cada serviço que será quantificado.

Para facilitar a vinculação do modelo ao *software* de quantificação, inseriu-se parâmetros relacionados ao serviço e a localização que seriam quantificados nos objetos BIM. Isso permitiu um ganho significativo de tempo uma vez que foi possível filtrar e quantificar os quantitativos da unidade-base utilizando os parâmetros.

A relação dos parâmetros utilizados e dos respectivos serviços podem ser visualizados na Quadro 4.

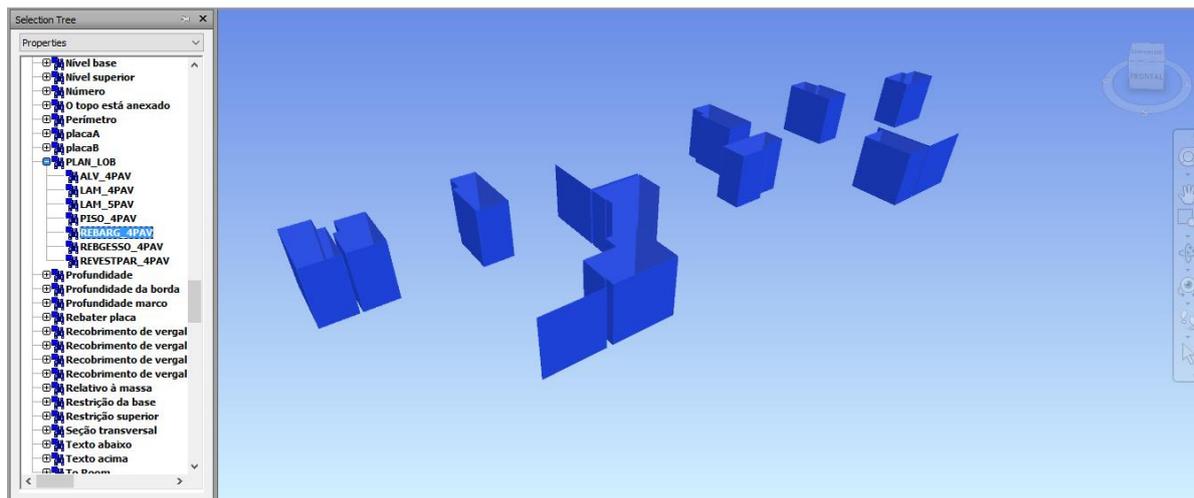
Quadro 9 - Relação dos serviços quantificados com os parâmetros utilizados

<b>Serviço</b>	<b>Parâmetro</b>
Alvenaria	ALV_4PAV
Reboco de argamassa	REBARG_4PAV
Reboco de gesso	REBGESSO_4PAV
Revestimento Paredes	REVESTPAR_4PAV
Porcelanato	PISO_4PAV
Laminado	LAM_4PAV

Fonte: o autor

A visualização dos objetos BIM por meio dos parâmetros pode ser feita por meio da ferramenta *Selection Tree* do *software NavisWorks Manage*. Como visto na Figura 13.

Figura 13 - Visualização dos objetos BIM vinculados aos parâmetros utilizados



Fonte: o autor

A primeira etapa para o uso da ferramenta Quantification é a criação dos grupos e itens na aba “*Item Catalog*”. Os itens são os elementos quantificáveis e os grupos são mecanismos de organização da EAP do projeto. No estudo caso, utilizou-se do item grupo para especificar que estava sendo quantificado a unidade-base e os itens para a organização dos serviços para os quais seriam vinculados os objetos BIM do modelo 3D. A criação da EAP no *software* para realizar a quantificação do modelo pode ser vista na Figura 14.

Figura 14 - Organização da EAP para a quantificação na ferramenta Quantification



Fonte: o autor

Os parâmetros encontravam-se incorporados nos objetos BIM modelados, assim foi possível selecioná-los através da identificação dos mesmos na aba

*Selection Tree*. A conferência pode ser realizada por meio da visualização 3D dos objetos selecionados e considerados no parâmetro, além de permitir a identificação direta dos elementos caso for necessária uma segunda quantificação devido à uma atualização de projeto. O processo de seleção pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 - Vinculação dos objetos BIM aos itens do quantitativo

The screenshot displays the software interface with the following components:

- Selection Tree:** A hierarchical list of BIM objects including 'placaA', 'placaB', 'PLAJI\_LOB', 'ALV\_4PAV', 'LAH\_4PAV', 'LAH\_5PAV', 'PISO\_4PAV', 'REBARG\_4PAV', and 'REVESTIPAR\_4PAV'.
- 3D Model:** A blue 3D rendering of a building structure.
- Quantification Workbook:** A table with two sections:
 

Items	WBS
Quantitativo da unidade-base	1
Alvenaria(0)	1.1
Reboco de argamassa(64)	1.2
Reboco de gesso(169)	1.3
Revestimento cerâmico(64)	1.5
Porcelanato(4)	1.6
Laminado(3)	1.7

Status	WBS/RBS	Name	Description	Comments	Length	Width	Thic
	1.3	Reboco de gesso			286.979 m	0.000 m	

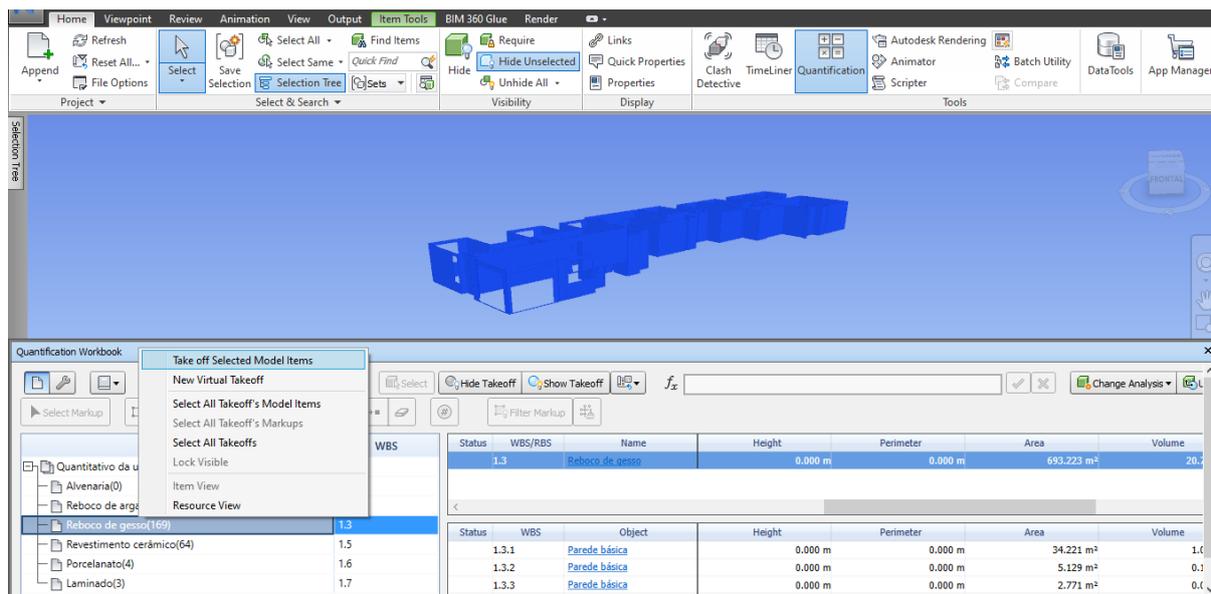
  

Status	WBS	Object	Height	Perimeter	Area	Volume
	1.3.1	Parede básica	0.000 m	0.000 m	34.221 m²	1.027
	1.3.2	Parede básica	0.000 m	0.000 m	5.129 m²	0.154
	1.3.3	Parede básica	0.000 m	0.000 m	2.771 m²	0.083
	1.3.4	Parede básica	0.000 m	0.000 m	0.577 m²	0.014

Fonte: o autor

Para atribuir os objetos BIM selecionados no item quantificável para fazer a quantificação utiliza-se do comando *“Take off Selected Model Items”*. Feita a atribuição ele irá calcular os quantitativos conforme as informações contidas nos elementos atribuídos possibilitando a conferência direta pela visualização do modelo 3D como visto na Figura 16.

Figura 16 - Comando para atribuir os objetos BIM no quantitativo



Fonte: o autor

#### 4.2.3.2 Pré dimensionamento dos serviços

Tendo o quantitativo e vinculando-o à base de dados de produtividade do histórico da construtora foi possível realizar um pré-dimensionamento do tempo necessário para executar cada serviço levando em consideração a equipe mínima necessária para a execução.

O pré-dimensionamento tem o papel de permitir a primeira noção para a constituição das equipes que serão utilizadas no empreendimento além de facilitar a identificação do tempo de duração das atividades possibilitando após ele a execução da sincronização das mesmas para a obtenção de um ritmo adequado de produção. O pré-dimensionamento levando em consideração o RUP da base de dados pode ser visto na Figura 17.

Figura 17 - Pré-dimensionamento dos serviços utilizando a base de dados

Processos Chaves	Quantitativo	Unidade	RUP	Equipe (HH) = RUP X Quantitativo	horas/dias	Para 1 pessoa
Estrutura	465.52	m <sup>2</sup>	3.40	1582 horas	8 horas/dia	198 dias
Alvenaria	858.875	m <sup>2</sup>	0.36	309 horas	8 horas/dia	39 dias
Caixas, eletrodutos e pré-ar	3	apto	40.00	120 horas	8 horas/dia	15 dias
Coluna pluvial/esgoto	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias
Instalação de gás	3	apto	12.00	36 horas	8 horas/dia	5 dias
Shafts	12	unid	2.91	35 horas	8 horas/dia	4 dias
Reboco de argamassa	254.87	m <sup>2</sup>	0.50	128 horas	8 horas/dia	16 dias
Reboco de gesso	693.22	m <sup>2</sup>	0.28	191 horas	8 horas/dia	24 dias
Hidráulica/Esgoto	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias
Impermeabilização de banheiros	3	apto	8.00	24 horas	8 horas/dia	3 dias
Fiação	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias
Contrapiso	337.86	m <sup>2</sup>	0.20	69 horas	8 horas/dia	9 dias
Revestimento Paredes	254.87	m <sup>2</sup>	0.17	43 horas	8 horas/dia	5 dias
Forro	337.86	m <sup>2</sup>	0.41	138 horas	8 horas/dia	17 dias
Porcelanato	194.68	m <sup>2</sup>	0.46	89 horas	8 horas/dia	11 dias
Pintura 1ª de mão	1031.08	m <sup>2</sup>	0.10	98 horas	8 horas/dia	12 dias
Portas e laminados	143.18	m <sup>2</sup>	0.62	89 horas	8 horas/dia	11 dias
Louças e metais	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias
Quadros, interruptores e ventokits	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias
Pintura 2ª de mão	1031.08	m <sup>2</sup>	0.10	98 horas	8 horas/dia	12 dias
Limpeza final	3	apto	40.00	120 horas	8 horas/dia	15 dias
Reboco externo	293.02	m <sup>2</sup>	0.76	223 horas	8 horas/dia	28 dias
Pastilha	293.02	m <sup>2</sup>	0.38	111 horas	8 horas/dia	14 dias
Esquadria de PVC	20	unid	1.60	32 horas	8 horas/dia	4 dias

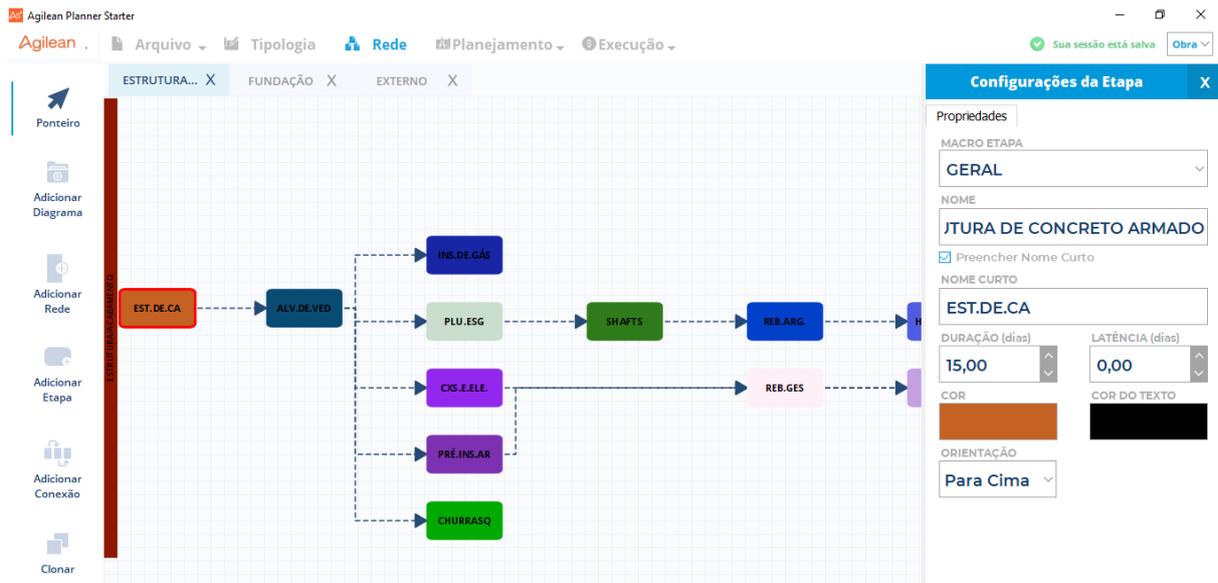
Fonte: o autor

#### 4.2.4 Estudo dos fluxos de trabalho

O estudo do fluxo de trabalho utilizou da linha de balanço elaborada no *software Agilean Starter Planner* após a definição da EHZT e do sequenciamento construtivo.

Primeiramente, ao adicionar as atividades no *software Agilean Starter Planner* é possível já considerar o pré-dimensionamento realizado para visualizar como será o cronograma de execução conforme as equipes mínimas, como pode ser observado na Figura 18.

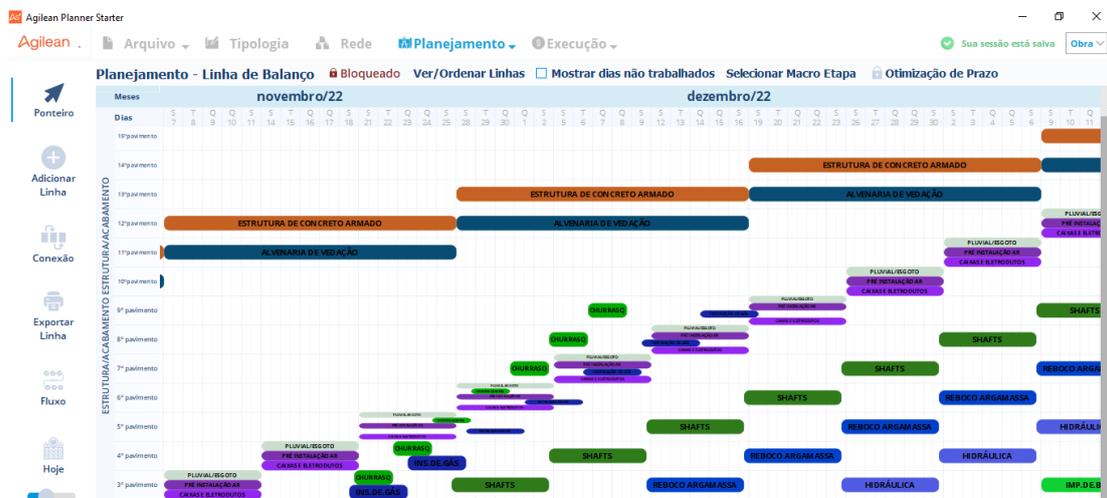
Figura 18 - Definição das atividades no software *Agilean Planner Starter*



Fonte: o autor

Após a definição de todas as atividades com seus tempos de duração e latência, se necessária, utiliza-se da aba Planejamento para realizar a criação da linha de balanço que norteará o fluxo do trabalho como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Criação da linha de balanço do empreendimento



Fonte: o autor

#### 4.2.5 Estudo dos processos críticos

Após a análise do sequenciamento construtivo e da linha de balanço elaborada percebeu-se duas atividades como processos críticos de execução do empreendimento, as quais são a estrutura e a rede de revestimento externo.

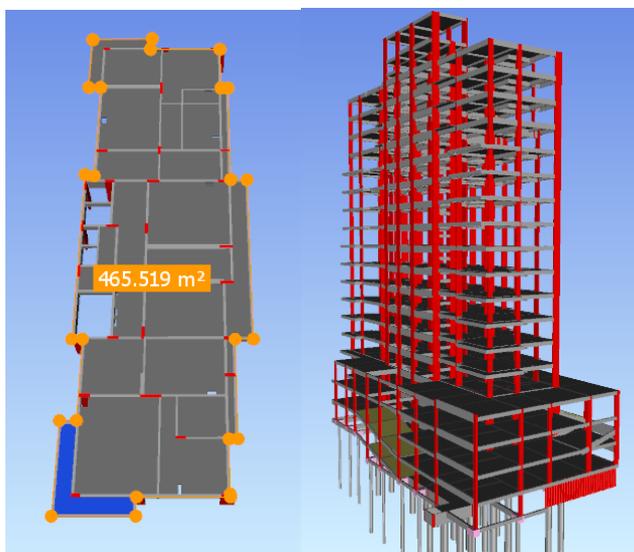
A primeira configura-se como um determinante para o ritmo de produção uma vez que representa o maior tempo de execução além de sua boa prática construtiva impor o prazo de 28 dias para a remoção integral do escoramento dos elementos estruturais determinando assim uma restrição para a execução da atividade seguinte.

Já a segunda tem como pré-requisito de execução atrelado a finalização da estrutura e a sua finalização é obrigatória para a liberação de serviços internos que acontecem em todas as zonas de trabalho representando assim uma atividade essencial para o empreendimento.

Com o objetivo de garantir a melhor execução de ambos os processos críticos foi feito um estudo a fim de implementar melhorias no processo de execução que facilitem a produtividade e controle das atividades.

Em relação a estrutura, fez-se a análise dos elementos construtivos utilizando do modelo IFC disponível, como observado na Figura 20 e a partir dela, modificou-se o processo construtivo utilizado pela construtora com o objetivo de diminuir o tempo de concretagem de cada laje, fator limitante para a liberação dos serviços posteriores.

Figura 20 - Modelo estrutural analisado no *software NavisWorks Manage*



Fonte: o autor

Essa modificação consistiu na execução de formas e ferragens de pilares, vigas e lajes de maneira contínua diferentemente do que era verificado nos outros empreendimentos em que se fazia a concretagem dos pilares separadamente representando tempo a mais na programação da estrutura conforme pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 - Comparativo de dias trabalhados por forma de execução da estrutura

Execução Estrutura - Pilares separadamente					Execução Estrutura - Pilares junto com as vigas e lajes				
Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5
Pilares	Pilares	Pilares	Concretagem	Cura	Pilares	Pilares	Pilares	Formas	Formas
Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9	Dia 10
Desforma	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas
Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15	Dia 11	Dia 12	Dia 13	Dia 14	Dia 15
Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas	Formas
Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20	Dia 16	Dia 17	Dia 18	Dia 19	Dia 20
Formas	Formas	Concretagem	Cura		Concretagem	Cura/Desforma			

Serviço	Dias trabalhados por laje	Serviço	Dias trabalhados por laje
Pilares	3	Pilares	3
Vigas e lajes	11	Vigas e lajes	11
Concretagem/Cura	4	Concretagem/Cura	2
Desforma	1	Desforma	0
Total	19	Total	16

Fonte: o autor

Além disso, duas outras medidas foram consideradas para garantir a produtividade no processo de execução desse serviço: a primeira será a utilização da grua para o transporte vertical desde o início do pavimento-tipo propiciando uma redução de desperdícios no processo de deslocamento; a segunda, o estabelecimento de um prêmio de produção em forma de gratificação pelo alcance do tempo de ciclo estabelecido para o processo garantindo assim um estímulo a produção.

Em relação ao revestimento externo, a fachada leste é a prioritária devido à concentração das áreas íntimas dos apartamentos onde serão utilizados pisos laminados. Assim, a análise dos seus elementos através do uso do *software NavisWorks Manage* permitiu fazer a divisão da fachada em 6 partes as quais foram medidas conforme a execução e proporcionou clareza sobre o dimensionamento das equipes para o atendimento desse processo crítico, como pode ser observado na Figura 22.



#### 4.2.6 Definição da estratégia de execução

A definição da estratégia de execução baseou-se em diferentes cenários que foram criados e visualizados através do *software Agilean Starter Planner*. A principal ferramenta utilizada para essa etapa foi a utilização do tempo *takt*.

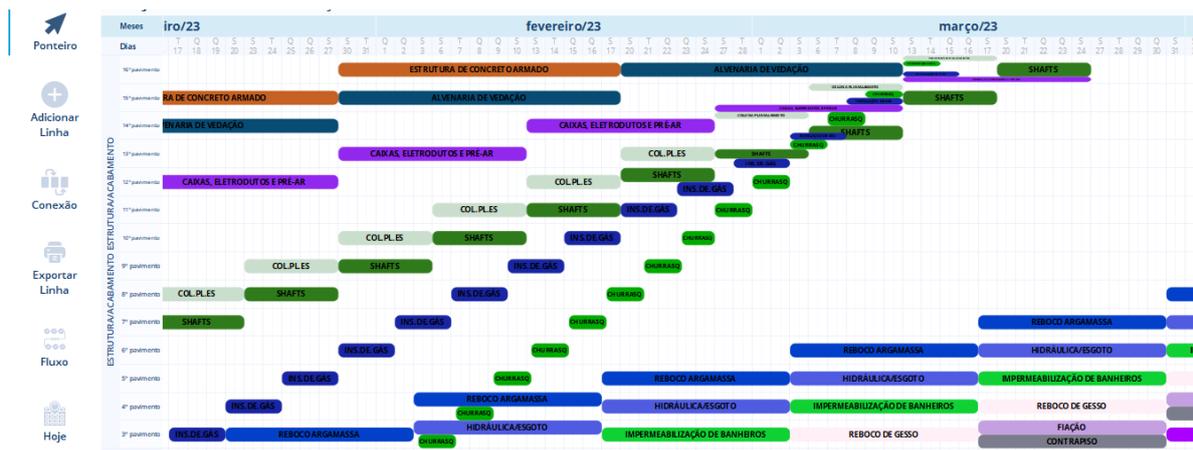
O tempo *takt* permitiu a sincronização do ritmo de cada atividade bem como o dimensionamento da equipe mínima de cada serviço com base na produtividade histórica da construtora que já estava sendo considerada no pré-dimensionamento como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Dimensionamento das equipes utilizando o tempo *takt*

Processos Chaves	Quantitativo	Unidade	RUP	Equipe (HH) = RUP X Quantitativo	horas/dias	Para 1 pessoa	TAKT	Equipe (nº de pessoas)
Estrutura	465.52	m²	3.40	1582 horas	8 horas/dia	198 dias	15	14
Alvenaria	858.875	m²	0.36	309 horas	8 horas/dia	39 dias	15	3
Caixas, eletrodutos e pré-ar	3	apto	40.00	120 horas	8 horas/dia	15 dias	10	2
Coluna pluvial/esgoto	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	10	1
Instalação de gás	3	apto	12.00	36 horas	8 horas/dia	5 dias	10	1
Shafts	12	unid	2.91	35 horas	8 horas/dia	4 dias	10	1
Reboco de argamassa	254.87	m²	0.50	128 horas	8 horas/dia	16 dias	10	2
Reboco de gesso	693.22	m²	0.28	191 horas	8 horas/dia	24 dias	10	3
Hidráulica/Esgoto	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	10	1
Impermeabilização de banheiros	3	apto	8.00	24 horas	8 horas/dia	3 dias	10	1
Fiação	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	10	1
Contrapiso	337.86	m²	0.20	69 horas	8 horas/dia	9 dias	10	1
Revestimento Paredes	254.87	m²	0.17	43 horas	8 horas/dia	5 dias	10	1
Forro	337.86	m²	0.41	138 horas	8 horas/dia	17 dias	10	2
Porcelanato	194.68	m²	0.46	89 horas	8 horas/dia	11 dias	10	2
Pintura 1ª de mão	1031.08	m²	0.10	98 horas	8 horas/dia	12 dias	10	2
Portas e laminados	143.18	m²	0.62	89 horas	8 horas/dia	11 dias	10	2
Louças e metais	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	10	1
Quadros, interruptores e ventokits	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	10	1
Pintura 2ª de mão	1031.08	m²	0.10	98 horas	8 horas/dia	12 dias	10	2
Limpeza final	3	apto	40.00	120 horas	8 horas/dia	15 dias	10	2
Reboco externo	293.02	m²	0.76	223 horas	8 horas/dia	28 dias	15	2
Pastilha	293.02	m²	0.38	111 horas	8 horas/dia	14 dias	10	2
Esquadria de PVC	20	unid	1.60	32 horas	8 horas/dia	4 dias	10	1

Fonte: o autor

Utilizando dele, fez-se a primeira simulação considerando a ferramenta Fluxo do *software* para a criação da linha de balanço como visto na Figura 25.

Figura 25 - Utilização da ferramenta Fluxo do software *Agilean Planner Starter*

Fonte: o autor

Pode-se perceber nela uma distância significativa no desenvolvimento da linha de balanço da alvenaria e no início das atividades referentes à instalações levando em consideração o tempo *takt* utilizado. Assim, observou-se a necessidade de antecipar a visualização da execução dos demais serviços que podem vir a representar a necessidade de tomada de decisões inerentes ao acompanhamento por meio da identificação de interferências e detalhes executivos na obra.

Com o intuito de resolver essa demanda, optou-se por abrir mão do fluxo contínuo das primeiras atividades utilizando a mão de obra envolvida nos serviços que possam vir a ter um período de latência para a execução de atividades complementares.

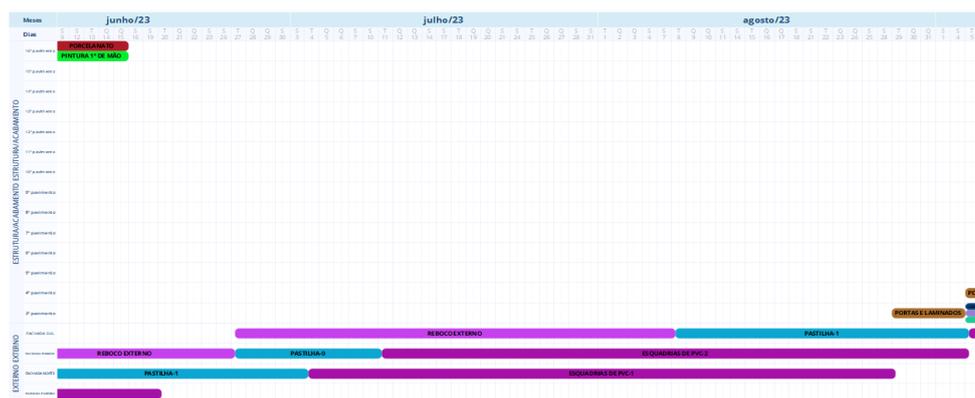
O tempo *takt* das atividades foi simulado em três diferentes cenários para o seu estabelecimento. Ao longo da criação dos cenários, foi possível identificar a modificação significativa das equipes mínimas para a execução dos serviços como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 - Dimensionamento das equipes com tempo *takt* de 5 dias

Processos Chaves	Quantitativo	Unidade	RUP	Equipe (HH) = RUP X Quantitativo	horas/dia	Para 1 pessoa	TAKT	nº de pessoas
Estrutura	465.52	m²	2.71	1262 horas	8 horas/dia	158 dias	15	11
Alvenaria	778	m²	0.36	280 horas	8 horas/dia	35 dias	15	3
Caixas e eletrodutos	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Pluvial e esgoto	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Instalação de gás	3	apto	12.00	36 horas	8 horas/dia	5 dias	5	1
Shafts	12	unid	2.40	29 horas	8 horas/dia	4 dias	5	1
Reboco de argamassa	252	m²	0.53	134 horas	8 horas/dia	17 dias	5	4
Reboco de gesso	526	m²	0.40	210 horas	8 horas/dia	26 dias	5	6
Hidráulica	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Impermeabilização WC	3	apto	16.00	48 horas	8 horas/dia	6 dias	5	2
Fiação	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Contrapiso	372.42	m²	0.20	74 horas	8 horas/dia	9 dias	5	2
Revestimento Paredes	252	m²	0.18	45 horas	8 horas/dia	6 dias	5	2
Forro	372.42	m²	0.40	149 horas	8 horas/dia	19 dias	5	4
Porcelanato	148.97	m²	0.20	30 horas	8 horas/dia	4 dias	5	1
Massa corrida	898.42	m²	0.08	72 horas	8 horas/dia	9 dias	5	2
Pintura 1ª de mão	898.42	m²	0.08	72 horas	8 horas/dia	9 dias	5	2
Portas e laminado	223.45	unid/m²	0.27	60 horas	8 horas/dia	7 dias	5	2
Rodapés e guarnições	202.31	m	0.17	34 horas	8 horas/dia	4 dias	5	1
Louças e metais	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Quadros, interruptores e ventokits	3	apto	20.00	60 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2
Pintura 2ª de mão	898.42	m²	0.09	78 horas	8 horas/dia	10 dias	5	2
Limpeza final	3	apto	40.00	120 horas	8 horas/dia	15 dias	5	3
Reboco externo	283.22	m²	0.46	129 horas	8 horas/dia	16 dias	10	2
Pastilha	283.22	m²	0.23	65 horas	8 horas/dia	8 dias	5	2

Fonte: o autor

Percebeu-se uma demanda maior nos serviços de reboco de argamassa e reboco de gesso quando considerado o mesmo tempo *takt* dos outros serviços. Assim, fez-se a análise da linha de balanço para ver os ganhos reais no cronograma com a alteração do tempo *takt* e pode-se visualizar que o impacto do adiantamento desses serviços não influenciará no prazo final da obra uma vez que os serviços de acabamento necessitam de mais tempo para a conclusão mantendo o mesmo prazo final do tempo *takt* de 10 dias como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Linha de balanço com tempo *takt* de 5 dias

Fonte: o autor

O outro cenário simulado foi com o tempo *takt* de 8 dias de duração, entretanto ele se mostrou pouco prático para a realização do PCP uma vez que implicaria em reuniões de controle do mesmo em datas distintas ao longo da execução tornando pouco prático o acompanhamento.

Com o objetivo de facilitar o processo de PCP por meio do controle do tempo *takt* permitindo disseminar a mentalidade do tempo de ciclo para todos os envolvidos no processo de execução, decidiu-se estabelecer o tempo *takt* de 10 dias. Esse tempo de ciclo seria suficiente para padronizar o ritmo da execução dentre os diferentes serviços tornando mais prático a comunicação entre a equipe técnica e os responsáveis pela produção.

A partir da estratégia definida, começou-se já a elaboração de ferramentas que irão auxiliar a implementação do PSP e ser decisivo para o seu cumprimento ao longo da execução da obra. Assim, um dos principais fatores considerados quando feita a análise de escopo do projeto foi que as atividades que representaram gargalo não possuíam um cronograma bem definido.

Dessa forma, com base na linha de balanço foi realizada a programação dos serviços de cada terceiro para que no momento da contratação ele já se comprometa com a execução dos serviços conforme o cronograma estabelecido no PSP como pode ser visualizado na Figura 28.

Figura 28 - Definição de prazos para contratação de serviços

Código	Nome	Macro	Etapa	Rede	Duração	Planej. Inicial	Planej. Final	Estimativa final	Início
1	ESTRUTURA/ACABAMENTO				576	02/05/2022 08:00	15/07/2024 17:00		
1.1	3º pavimento				446	02/05/2022 08:00	15/01/2024 17:00		
1.1.1.1	ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	15	02/05/2022 08:00	20/05/2022 17:00		
1.1.1.2	ALVENARIA DE VEDAÇÃO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	15	20/06/2022 08:00	08/07/2022 17:00		
1.1.1.4	COLUNA PLUVIAL/ESGOTO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	5	22/08/2022 08:00	26/08/2022 17:00		
1.1.1.6	SHAFTS	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	5	29/08/2022 08:00	02/09/2022 17:00		
1.1.1.5	CAIXAS, ELETRODUTOS E PRÉ-AR	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	05/09/2022 08:00	16/09/2022 17:00		
1.1.1.3	INSTALAÇÃO DE GÁS	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	3	22/09/2022 13:00	27/09/2022 12:00		
1.1.1.7	REBOCO ARGAMASSA	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	03/10/2022 08:00	14/10/2022 17:00		
1.1.1.8	HIDRÁULICA/ESGOTO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	31/10/2022 08:00	11/11/2022 17:00		
1.1.1.10	IMPERMEABILIZAÇÃO DE BANHEIROS	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	28/11/2022 08:00	09/12/2022 17:00		
1.1.1.37	CHURRASQUEIRAS	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	2	12/12/2022 08:00	13/12/2022 17:00		
1.1.1.9	REBOCO DE GESSO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	26/12/2022 08:00	06/01/2023 17:00		
1.1.1.11	CONTRAPISO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	23/01/2023 08:00	03/02/2023 17:00		
1.1.1.12	AZULEJO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	20/02/2023 08:00	03/03/2023 17:00		
1.1.1.14	FIACÃO	GERAL		ESTRUTURA/ACABAMENTO	10	20/03/2023 08:00	31/03/2023 17:00		

Fonte: o autor

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizada a elaboração do estudo de caso foi possível perceber a formalização dos conhecimentos técnicos e do sistema construtivo utilizado pela construtora facilitando a compreensão da sequência construtiva por parte das diferentes partes envolvidas no processo de execução do empreendimento.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, foram feitas 10 reuniões de aproximadamente 1 hora de duração tendo como participantes fixos: o engenheiro responsável e o autor do trabalho e participantes eventuais: demais integrantes do corpo técnico da empresa, mestre de obras, contra-mestre, principais prestadores de serviço e fornecedores.

A construção do PSP permitirá a contratação de terceiros vinculado ao cronograma de execução dos serviços viabilizando uma cobrança maior por parte da gerenciadora em aspectos de produtividade e também maior transparência para o terceiro em relação da previsão de mão-de-obra que será necessária para a execução da obra.

A participação do corpo técnico, mestre de obras, terceiros e fornecedores no processo de construção do PSP aumentou a transparência e permitiu a visualização prévia das demandas que a obra terá ao longo da sua execução permitindo um ganho significativo no planejamento e antecipação de interferências que podem vir a prejudicar o ritmo de produção.

A existência de um planejamento de longo prazo desde o início da obra permitirá o desenvolvimento do PCP ao longo da execução, facilitando a implementação de ferramentas com o *Last Planner System*, controle de tempo *takt* e mensuração de indicadores vinculados ao avanço físico.

O objetivo de utilizar do *Building Information Modelling* para a aplicação dos princípios enxutos e elaboração do PSP foi alcançado por meio do desenvolvimento de parâmetros inseridos no modelo 3D o qual vinculado a EAP do projeto permitiu a quantificação da unidade-base para a realização do estudo de caso. Além da parametrização, a visualização dos modelos 3D no *software NavisWorks Manage* permitiu a definição de projetos para os processos críticos da obra sendo essencial para a análise e elaboração dessa etapa.

O objetivo específico de realizar a análise de escopo do projeto de construção civil foi cumprido sendo passo essencial para o entendimento da atual cadeia de produção e norteando todo o desenvolvimento do PSP.

O objetivo específico de utilizar a estrutura hierárquica de zonas de trabalho e aplicar o princípio do tempo *takt* permitiu a definição do sistema de localização utilizado na construção da linha de balanço no *software Agilean Planner Starter* bem como norteou o nivelamento da produção como demonstrado no item 4.2.6 do trabalho foi essencial para a sincronização das equipes e elaboração de um planejamento que permita envolver todos os diferentes terceiros no princípio da produção em fluxo contínuo e ininterrupto do *Lean Construction*.

O BIM teve papel fundamental na aplicação dos princípios do Lean Construction pois a visualização específica dos elementos de cada etapa da EAP facilitada pela parametrização ou a visualização do empreendimento como um todo disponível no modelo 3D viabilizou todas as definições que foram feitas no PSP que levam em consideração o conhecimento e as práticas da produção enxuta tais como a redução do tempo de ciclo e o aumento da transparência no processo de elaboração do planejamento e da execução dos projetos.

O trabalho teve como limitantes: a inexistência dos projetos complementares (hidrossanitário e elétrico) em BIM, inviabilizando o desenvolvimento da compatibilização dos projetos e proporcionando um modelo único que poderia representar todos os itens da EAP.

Além disso, o desenvolvimento do trabalho por ter sido feito na fase de planejamento não pôde acompanhar o início da execução do PSP não podendo assim acompanhar a validação da sua elaboração e gerar indicadores de eficiência e eficácia da sua implementação.

Devido a ausência da composição financeira e orçamento detalhado da construtora não integrou-se o planejamento com o orçamento não abordando assim o desenvolvimento de projeções financeiras relacionadas a execução da obra.

Fica-se como sugestões para futuros trabalhos:

- Aplicação de estudo de caso sobre a integração entre PCP e orçamento
- Compatibilização de projetos de diferentes disciplinas e desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção

## REFERÊNCIAS

BALLARD, H. G. **The Last Planner System of production control** Birmingham, 2000. Thesis (Ph.D) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000.

BALLARD, G. et al. Production System Design in Construction. **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 9., Singapore, 2001..

CARVALHO, A. B.; MAUÉS, L. M. F.; MOREIRA, F. de S.; REIS, C. J. L. Study on the factors of delay in construction works. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 3, p. 27-46, jul./set. 2021.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Hoboken, USA: Wiley & Sons, 2008.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ISATTO, E. L et al. **Lean construction**: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na Construção Civil. Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2000. p.6

KEMMER, S. L.; HEINECK, L. F. M.; ALVES, T. C. L. Using the line of balance for production system desing, **Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, 16., Manchester, 2008.

KOSKELA, L. Application of the New Production Philosophy to Construction. **Center for Integrated Facility Engineering Technical Report** no 72. Stanford University, 1992.

MARIZ, R. N.; PICCHI, F. A. Implementation of lean practices facilitated by BIM functionalities in the construction phase: advances and opportunities. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 309-328, out./dez. 2021.

MIGUEL, P. A. C et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

OLIVEIRA, E. H. **Lean construction: o princípio do Takt**. Mogi das Cruzes: 2018.

Rodrigues, A. A. **O projeto do sistema de produção no contexto de obras complexas**. Porto Alegre, 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SACKS,R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modelling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968-980, 2010.

SANTOS, D. M. C., SANTOS, B. K., & SANTOS, C. G. (2021). Implementation of a standard work routine using Lean Manufacturing tools: A case Study. **Gestão & Produção**, 28(1), e4823.

SCHRAMM, F. K. **O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004

SCHRAMM, F. K. et al. O projeto do sistema de produção na gestão de empreendimentos habitacionais de interesse social, **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 59-74, abr./jun. 2006

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL. **Custo Unitário Básico – Série Histórica – valor**, Rio Grande do Sul, 2022.

VARGAS, B. F. **Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho e BIM** - Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. Porto Alegre. 2018.

# APÊNDICE A – LINHA DE BALANÇO DO ESTUDO DE CASO

