

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA
RESIDENCIAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL

NICOLAS MAINIERI

Porto Alegre

Abril de 2023

NICOLAS MAINIERI

**PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA
RESIDENCIAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Dra. Iamara Rossi Bulhões

Porto Alegre
Abril de 2023

NICOLAS MAINIERI

**PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DE UMA OBRA
RESIDENCIAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

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

Porto Alegre, abril de 2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Iamara Rossi Bulhões (UFRGS)

Dra. em Engenharia Civil pela UNICAMP

Orientadora

Profa. Daniela Viana Dietz (UFRGS)

Dra. em Engenharia Civil pela UFRGS

Gabriela Dantas Medeiros

Eng. pela Universidade Federal do Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à toda minha família. A oportunidade de cursar uma graduação em uma universidade federal foi uma construção de um pouquinho de cada um destes que estiveram sempre me apoiando. Destaco o agradecimento aos meus avós, vô Cláudio, vô Santa, vô Zé e vô Jovita, que em muitos momentos, e de diversas formas, foram um suporte a minha vida acadêmica desde os primeiros anos na escola. Agradeço ao meu pai, Leandro Mainieri (*in memoriam*) pelos valores passados a mim, que me formaram como pessoa e que me trouxeram até aqui. Em especial, um agradecimento a minha mãe, Patricia Helena Scheuermann, por ter me colocado sempre em primeiro lugar e por não ter medido esforços para me proporcionar a melhor educação possível. Muito obrigado, mãe. Conseguimos!

Agradeço à minha orientadora Iamara por toda disponibilidade durante o desenvolvimento do trabalho. Agradeço, professora, por todos os ensinamentos e pela dedicação nesse período que foi muito significativo pra minha formação como engenheiro civil.

Agradeço a todos os professores da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul os quais tive a oportunidade de ser aluno. Agradeço a todos professores, orientadores e demais profissionais do Instituto Adventista Cruzeiro do Sul, escola que contribuiu imensamente para minha formação acadêmica.

Agradeço também a todos amigos que acompanharam e me ajudaram nessa minha jornada na graduação. Amigos que em diversos momentos foram inspirações pra seguir firme no objetivo.

Agradeço a NexGroup e todos seus funcionários por me dar a oportunidade de me desenvolver por meio do estágio e ao engenheiro Tales Pens por me ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Nada é permanente, exceto a mudança

Autor: Heráclito de Éfeso

RESUMO

A construção civil é um setor da indústria caracterizado pela baixa produtividade e pela não evolução nesse quesito, quando comparado a outros setores, como da agricultura ou dos manufaturados. Diversos são os fatores que explicam este cenário e um deles é relativo as falhas de gerenciamento na construção. O Projeto do Sistema de Produção (PSP) consiste em um processo que deve ocorrer antes do início da obra e que tem como objetivo antecipar problemas e planejar soluções. Possibilita uma visão sistêmica do empreendimento e tem como característica a participação de diferentes atores da obra.

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do PSP em uma obra residencial composta por 4 edifícios feitos em alvenaria estrutural. Por meio do método de desenvolvimento de PSP elaborado por Schramm (2004), definiu-se sequência de execução, zonas de trabalho e estratégia de execução. Para se desenvolver os fluxos de trabalho foi usada a técnica de linha de balanço, método de planejamento baseado na localização em que se representa graficamente o local e a data em que uma determinada equipe estará trabalhando.

O trabalho foi dividido em revisão bibliográfica, coleta de informações, desenvolvimento do PSP e análise de resultados. Ao ser concluído, pode-se verificar que as vantagens esperadas do processo se confirmaram: foi possível prever problemas e notar situações que merecem atenção, assim como planejar o layout do canteiro de obra, estimar o número de operários que trabalharão e desenvolver toda uma estratégia de execução.

Palavras chave: Projeto do Sistema de Produção, PSP, Planejamento, Linha de Balanço

ABSTRACT

Civil construction is an industry sector characterized by low productivity and non-evolution in this regard, when compared to other sectors, such as agriculture or manufactured goods. There are several factors that explain this scenario and one of them is related to management failures in construction. The Production System Project (PSP) consists of a process that must occur before the beginning of the work and which aims to anticipate problems and plan solutions. It provides a systemic view of the undertaking and is characterized by the participation of different actors in the work.

The present work has as objective the development of the PSP in a residential work composed by 4 buildings made in structural masonry. Through the PSP development method elaborated by Schramm (2004), execution sequence, work zones and execution strategy were defined. To develop the workflows, the balance line technique was used, a location-based planning method in which the location and date on which a given team will be working is graphically represented.

The work was divided into bibliographic review, information collection, PSP development and analysis of results. Upon completion, it can be seen that the expected advantages of the process were confirmed: it was possible to predict problems and notice situations that deserve attention, as well as planning the layout of the construction site, estimating the number of workers who will work and developing an entire strategy of execution.

Keywords: Production System Design, PSP, Planning, Balance Line

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
SUMÁRIO	8
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	13
1.3 DELIMITAÇÕES	13
2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO (PSP)	14
2.1 CONCEITO GERAL DE PSP	14
2.2 MODELO DE PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2004)	16
2.2.1 <i>Etapa 1</i>	17
2.2.2 <i>Etapa 2</i>	18
2.2.3 <i>Etapa 3</i>	19
2.2.4 <i>Etapa 4</i>	20
2.2.5 <i>Etapa 5</i>	20
2.2.6 <i>Etapa 6</i>	21
3 ZONAS DE TRABALHO	22
3.1 CONCEITO GERAL E ELABORAÇÃO DE ZONAS DE TRABALHO	22
3.2 FLUXO CONTÍNUO E REDUÇÃO DO TAMANHO DO LOTE	24
3.3 PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS	24
3.3.1 <i>Etapas para realizar um planejamento do canteiro de obra</i>	26
4 MÉTODO DE PESQUISA	28
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	28
4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
4.3 COLETA DE DADOS	29
4.4 DESENVOLVIMENTO DO PSP	29
4.5 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA	30
4.6 REUNIÕES OCORRIDAS NO PERÍODO	31
5 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA OBRA X	32
5.1 COLETA DE DADOS	32
5.2 SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO	33
5.3 PRÉ - DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DE PRODUÇÃO	34
5.4 ZONEAMENTO DA OBRA	36
5.5 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO;	39
5.6 LAYOUT DO CANTEIRO DE OBRAS	43

5.7	ESTUDO DOS FLUXOS DE TRABALHO;	48
5.7.1	<i>Opção 1</i>	48
5.7.2	<i>Opção 2</i>	53
5.8	IDENTIFICAÇÃO E PROJETO DOS PROCESSOS CRÍTICOS	59
5.8.1	<i>Marcação de laje</i>	59
5.8.2	<i>Definição da equipe de trabalho e do Ciclo de Trabalho</i>	59
5.9	PLANO LOGÍSTICO	61
5.9.1	<i>Blocos</i>	61
5.9.2	<i>Argamassa de Assentamento</i>	62
5.9.3	<i>Barras de Aço</i>	62
5.9.4	<i>Graute</i>	62
5.10	DISCUSSÕES	63
6	CONCLUSÕES	64
7	REFERÊNCIAS	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas da elaboração do PSP para EHIS (SCHRAMM, 2004).....	17
Figura 2: Exemplo de estrutura hierárquica de zonas de trabalho dividida em 3 níveis.	22
Figura 3: Descrição dos tipos de canteiro de obra	26
Figura 4: Planta de situação do empreendimento X	30
Figura 5: Sequenciamento de atividades.....	34
Figura 6: Índices de produtividade de pedreiro na execução de alvenaria estrutural	35
Figura 7: Índice de produtividade de pedreiro na execução de reboco em parede interna	36
Figura 8: Opção 1 de zoneamento	37
Figura 9: Opção 2 de zoneamento	38
Figura 10: Dados de metragem quadrada das zonas de trabalho	38
Figura 11: visualização da redução do tamanho dos lotes de produção	39
Figura 12: Esquema da trajetória das equipes de trabalho até o sexto pavimento.....	40
Figura 13: Trajetória das equipes de trabalho da opção 2	42
Figura 14: Localização das edificações dentro do terreno e seus acessos	44
Figura 15: Layout do canteiro de obra	47
Figura 16: Linha de balanço das Torres	51
Figura 17: Linha de balanço resumo.....	56
Figura 18: Recorte da linha de balanço detalhada da torre C	57
Figura 19: Recorte da linha de balanço detalhada da torre D	58
Figura 20: Tabelas criadas baseadas no Manual de Boas Práticas da Associação Bloco Brasil	60
Figura 21: Quadro criado baseado no Manual de Boas Práticas da Associação Bloco Brasil	60
Figura 22: Exemplo de indicação visual do plano de execução das paredes.....	61
Figura 23: Exemplo de planta de estocagem de materiais	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

LBM – Location-Based Management

LBS –Location Breakdown Structure - Estrutura hierárquica de localização

LOB – Linha de Balanço

PCP – Planejamento e Controle da Produção

PSP – Projeto do Sistema de Produção

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Os constantes aumentos dos preços dos insumos da construção civil vêm influenciando diretamente o setor como um todo. Segundo a CBIC (2022) “a falta ou o alto custo dos insumos continua sendo, pelo oitavo trimestre consecutivo, o principal problema da construção”. Em outra postagem, coloca que “[...] entre julho de 2020 a janeiro de 2022, o aço atingiu quase 22% do aumento total” referindo-se ao aumento total de custos de execução de um bloco residencial de quatro pavimentos. Nesse contexto, em que incorporadoras e construtoras estão buscando reduzir custos, o sistema de alvenaria estrutural volta a ganhar força. Além do menor uso de aço em relação ao sistema tradicional, composto por vigas e pilares, se destaca por ser “[...] um sistema com alto grau de racionalização” (ROMAN et al., 1999).

A racionalização e a industrialização da construção estão cada vez mais em pauta pelo grande potencial de avanço das suas práticas. A indústria da construção civil tem se caracterizado pela baixa produtividade – estando muito atrás do setor de manufatura e da economia como um todo (ABPC, 2021). Em que pese as exigências do mercado e os movimentos iniciais das empresas do setor no sentido de melhorar a qualidade e a produtividade, persistem na construção civil elevados índices de desperdício de materiais, de baixa produtividade e a alta incidência de problemas no produto final (SANTOS et al., 2006).

Nesse contexto, evidencia-se a necessidade de inclusão de ferramentas gerenciais objetivando melhores resultados. Segundo Laufer, (1990) o planejamento é um processo de tomada de decisão que facilita a compreensão dos objetivos do empreendimento e produz informações que servem como referência básica para monitorar e controlar a execução de empreendimentos de construção. Os principais benefícios do planejamento e controle da produção são o conhecimento total da obra, a detecção de situações desfavoráveis, a agilidade de decisões, a melhor relação com o orçamento e a otimização da alocação de recursos (MATTOS, 2019).

O Projeto do Sistema de Produção consiste na concepção dos sistemas produtivos, o qual requer conhecimento acerca da estratégia de produção, dos projetos de produtos ou serviços, da tecnologia do sistema de produção e do mercado (GAITHER; FRAZIER, 2002). Bastante usual no meio industrial, o PSP está ganhando espaço na construção civil.

Neste trabalho será desenvolvido um projeto de sistema de produção de um empreendimento em alvenaria estrutural a ser construído em Porto Alegre.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho tem como objetivo principal desenvolver um Projeto de Sistema de Produção, em uma obra residencial de 4 torres, em alvenaria estrutural. baseado no modelo de PSP proposto por Schramm (2004).

1.3 DELIMITAÇÕES

O trabalho proposto não abordará questões de viabilidade econômica e financeira. A sua aplicabilidade, assim como tomadas de decisão, será baseada nos indicadores do planejamento. Informações necessárias relativas a valores monetários serão retiradas diretamente de orçamento executado pela empresa. Questões envolvendo prazos de entrega da obra, contratação de equipes e demais informações necessárias ao desenvolvimento do trabalho serão obtidas a partir de decisões da empresa.

2 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO (PSP)

2.1 CONCEITO GERAL DE PSP

De acordo com Schramm (2004), os sistemas podem ser entendidos como um conjunto formado por partes que operam de forma organizada para atingir um objetivo comum.

Segundo Antunes Jr. (1998) *apud* Schramm (2004) a definição dos limites e dos elementos que pertencem a um sistema em estudo é altamente dependente dos propósitos e objetivos que este deve alcançar, sendo necessário portanto considerar as necessidades de cada caso. Assim, definir, corretamente, os limites de um sistema de estudo é imprescindível para que se tenha o entendimento do que deve ou não ser considerado, visto que os elementos que não devem ser considerados também não estão sob controle (SCHRAMM, 2004).

Moreira (1996) define sistema de produção como sendo o conjunto de atividades e de operações relacionadas entre si, presentes na elaboração de bens e de serviços. O planejamento e a execução das atividades que utilizam os recursos de produção na conversão de matérias-primas em produtos acabados são os principais entregáveis da gestão do sistema de produção (SCHRAMM, 2004). Os sistemas de produção podem ser classificados de acordo com diferentes fatores (SCHRAMM, 2009). Slack et al. (1997) afirmam que a relação volume-variedade de uma operação é o que determina como serão suas estratégias de gerenciamento. Assim, os mesmos autores, classificam cinco tipos de abordagens para o gerenciamento de sistemas de produção:

- Processos de projeto:
- Processos de jobbing:
- Processos em lotes ou bateladas:
- Processos de produção em massa:
- Processos contínuos.

Schramm (2004) diz que segundo esta classificação, a construção civil é caracterizada por possuir sistemas de produção por projeto. Entretanto, nos empreendimentos habitacionais de interesse social (EHIS), ainda que possuam o caráter de projeto (unicidade), os processos tem

um alto grau de repetição, lembrando as atividades desenvolvidas nas fábricas, ambiente caracterizado pelos processos repetitivos em grande escala (BASHFORD et al., 2003 *apud* SCHRAMM; COSTA e FORMOSO, 2006).

Segundo Slack et al. (1997) os sistemas de produção por projeto têm características genéricas, que permitem distingui-los de outros tipos de sistemas de produção:

- a) Objetivo: o resultado final é geralmente definido em termos de prazo, custo e qualidade;
- b) Complexidade: inúmeras tarefas são necessárias para a conclusão do projeto, cuja coordenação pode ser complexa;
- c) Unicidade: um projeto é usualmente único já que, mesmo quando repetido, será distinto em relação aos recursos utilizados e ao ambiente no qual se insere;
- d) Incerteza: um projeto é geralmente planejado antes de ser executado, carregando, portanto, alguma carga de risco;
- e) Temporaneidade: os empreendimentos têm início e fim definidos, sendo caracterizados por uma concentração temporária de recursos que, ao final do projeto, são realocados;
- f) Ciclo de vida: os recursos necessários para um projeto mudam durante o curso de execução, cujo padrão de alocação típico segue uma curva previsível.

Gaither e Frazier (2002) definem o PSP como o planejamento dos processos, sendo este um plano detalhado para a produção de serviços e produtos. Segundo os mesmos autores, o resultado dos estudos é a determinação das etapas do processo tecnológico que será utilizado e as ligações entre as etapas; a escolha dos equipamentos, o projeto de construções e o layout; e a necessidade de pessoal, suas habilidades e a supervisão necessária (GAITHER; FRAZIER, 2001).

Schramm (2004) afirma que o PSP é o conjunto de atividades de gestão que apresenta interfaces com o processo de desenvolvimento do produto e com o processo de desenvolvimento da produção. Assim, o PSP é uma tarefa a ser realizada antecipadamente em relação ao início das atividades de produção (SCHRAMM, 2009). Segundo o mesmo autor, isto deve acontecer, pois

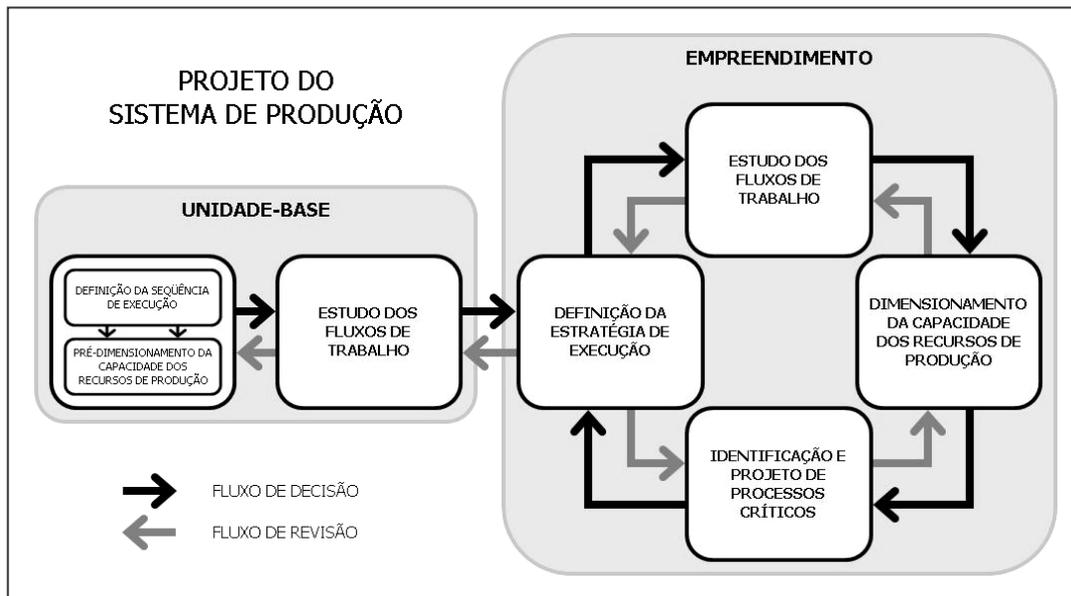
quanto maior a sobreposição temporal entre as atividades de projeto do produto e de projeto do sistema de produção, maiores serão as oportunidades de redução das atividades que não agregam valor ao sistema de produção. Ademais, busca-se reduzir os níveis de incerteza e variabilidade, cujo efeito é amplificado em função das características dos empreendimentos, como velocidade, repetitividade e pequena margem de lucro (SCHRAMM; COSTA e FORMOSO, 2006).

2.2 MODELO DE PSP PROPOSTO POR SCHRAMM (2004)

Baseado no referencial teórico e nas evidências coletadas no estudo de sua pesquisa, Schramm (2004) elucida uma série de considerações sobre o escopo e sobre a sequência de decisões que formam um Projeto do Sistema de Produção, no contexto de empreendimentos de habitação de interesse social.

Segundo o modelo proposto por Schramm (2004) o escopo de decisões foi definido em seis etapas e estas divididas em dois grupos, um relacionado à unidade base e outro ao empreendimento. O mesmo autor explica que mesmo que estas etapas apareçam em uma sequência, as decisões que elas envolvem não são feitas de forma isolada, e que, por se tratarem de decisões relativas ao sistema de produção, devem ser entendidas de forma integrada, ou seja, uma modificação em alguma das etapas irá reverberar em maior ou menor escala nas demais. Deste modo, na Figura 1 está apresentada a representação gráfica do modelo de PSP proposto por Schramm (2004), sendo as etapas representadas por caixas e as conexões por setas em dois sentidos: o sentido do fluxo de decisão, caracterizado pela definição da etapa, e o sentido da revisão, inerente ao processo dado o seu aspecto iterativo.

Figura 1: Etapas da elaboração do PSP para EHS (SCHRAMM, 2004)



A seguir serão detalhadas as etapas de elaboração do PSP (Schramm,2004)

2.2.1 Etapa 1

A Etapa 1 é referente a definição da Sequência de Execução e Pré-dimensionamento da Capacidade dos Recursos de Produção. Essa primeira etapa tem como objetivo a definição da sequência de execução da unidade base e do pré-dimensionamento da capacidade dos recursos de produção, que serão empregados para sua execução (SCHRAMM, 2004).

Schramm (2004) relata que, de acordo com os estudos, a definição da sequência de execução da unidade base deve ser baseada na experiência das equipes de planejamento e execução, adquirida em empreendimentos semelhantes já realizados. O autor acrescenta que se deve considerar, em casos em que a construtora não seja, também, a incorporadora, as diversas especificações de materiais e técnicas construtivas previamente definidas pelo contratante, ainda que, em alguns casos, estas definições possam ser revistas ao longo do desenvolvimento do PSP e opções melhores possam ser propostas e aceitas pelo cliente.

Durante a discussão sobre o sequenciamento das atividades, Schramm (2004) relata que outras definições se mostraram necessárias, como, por exemplo: o nível de integração vertical, quais materiais ou processos serão executados pela empresa e quais serão terceirizados; e a seleção das tecnologias a serem usadas, em relação a materiais, sistemas construtivos e equipamentos.

Sobre o nível de integração vertical, Rodrigues (2006) diz que a participação dos fornecedores e serviços e materiais na elaboração do PSP é vantajosa para ambas partes, uma vez que este terceirizado ajudar na elaboração de soluções.

Em relação ao pré-dimensionamento da capacidade de recursos da produção, Schramm (2004) ressalta a importância da experiência prévia da equipe de planejamento e relaciona de forma direta as taxas de produtividade (estabelecidas para as equipes) com os ritmos de produção que podem ser alcançados. O autor complementa que mesmo considerando o efeito aprendizagem, estabelecer uma taxa de produção factível a diferentes equipes é uma tarefa difícil, uma vez que estas não possuem taxas de produtividade iguais. De forma determinística, as durações das atividades são estimadas e a elas são incorporados *buffers*, que são folgas de tempo para serem usadas em eventuais atrasos, aumentando a previsibilidade do início das atividades e facilitando o controle (SCHRAMM, 2004).

2.2.2 Etapa 2

A Etapa 2 é referente aos estudos dos fluxos de trabalho da unidade-base. Após definição da sequência de execução e realizado o pré-dimensionamento da capacidade de recurso de produção, pode-se iniciar os estudos dos fluxos de trabalho na unidade-base (SCHRAMM, 2004). Segundo o autor, nessa etapa busca-se entender os aspectos dos fluxos de trabalho das equipes de produção, em relação às dimensões espaço e tempo, identificando, possivelmente, interferências entre equipes.

Um aspecto importante nesta etapa do PSP é o dimensionamento dos lotes de produção e de transferência dos diferentes processos (SCHRAMM, 2004). Segundo Schramm (2004), para se reduzir o tempo de ciclo dos processos repetitivos, a situação desejável é a que os lotes de produção e de transferência sejam de uma unidade, o que diminui o tempo de espera.

Schramm (2004) sugere o uso da ferramenta Linha de Balanço, pela capacidade de mostrar, de forma gráfica, as trajetórias das equipes, os ritmos de produção e a duração das atividades. Segundo Rodrigues (2006) a Linha de balanço ajuda no entendimento das atividades que devem ser executados e na identificação de interferências entre diferentes processos. Schramm (2004) complementa que esta ferramenta também permite identificar atividades que podem ser realizadas em paralelo, o que pode diminuir o tempo de ciclo de produção

Feitas as avaliações descritas nesse item e desenvolvida a Linha de Balanço, é possível avaliar a necessidade de aumentar a capacidade dos recursos de produção a fim de elevar o ritmo de produção e adequar os prazos de execução (SCHRAMM, 2004).

2.2.3 Etapa 3

A Etapa 3 é referente à definição da estratégia de execução do empreendimento. A estratégia de execução do empreendimento é um dos aspectos mais relevantes do PSP e, a precisão na sua definição indica, em grande parte, o grau de sucesso do sistema de produção em termos de custo e prazo de execução (SCHRAMM, 2004). Segundo Schramm (2004), após a definição das ligações de sequência feita na etapa anterior, desenvolve-se, nesse momento, as ligações de trajetória, que são os percursos a serem desenvolvidos pelas equipes de trabalho.

Para a melhor definição das trajetórias, deve-se realizar simulações de diferentes alternativas e para a escolha da mais adequada, alguns critérios devem ser utilizados (SCHRAMM, 2004):

- a) - Impacto no prazo de execução do empreendimento: busca-se alternativas, ou cenários, que sejam exequíveis dentro do prazo pré-estabelecido;
- b) - Capacidade de fornecimento dos fornecedores de suprimentos: verificar a disponibilidade dos fornecedores atender as demandas da obra;
- c) - Capacidade de produção dos processos críticos: os ritmos de produção das diversas atividades devem estar de acordo com o ritmo da atividade considerada crítica;
- d) - Viabilidade financeira: a alternativa escolhida deve ser coerente com o volume de recursos necessários à produção, ou seja, sem comprometer o fluxo de caixa.

Segundo Schramm (2004) mesmo que uma trajetória seja definida, as demais opções geradas devem ser armazenadas, uma vez que podem ser úteis caso a primeira opção se mostre não aplicável. O autor acrescenta a ideia de que é importante que a estratégia seja flexível, sendo possível aumentar ou diminuir a capacidade de produção de forma a não afetar o cumprimento do prazo pré-estabelecido. Definidas as trajetórias de execução das diferentes equipes, a união destas compõe o plano de ataque do empreendimento (SCHRAMM, 2004).

2.2.4 Etapa 4

A Etapa 3 é referente ao estudo dos fluxos de trabalho no empreendimento. Para Schramm (2004) o resultado deste estudo tem como objetivo a visualização dos fluxos de trabalho em todo empreendimento. Isto é possível a partir das definições da estratégia de execução do empreendimento e dos fluxos de trabalho na unidade-base, uma vez que essas definições apontam, respectivamente, para o número de frentes de trabalho que serão abertas e os ritmos de execução dos vários processos (SCHRAMM, 2004). O autor esclarece que para a realização dessa etapa, deve-se considerar a necessidade de sincronização dos fluxos de trabalho dos diferentes processos, principalmente, quanto ao uso compartilhado de determinados recursos, como por exemplo, os equipamentos de movimentação. Rodrigues (2006) ressalta que para a definição desses fluxos é necessário que participe do processo os principais envolvidos com a execução do empreendimento, como por exemplo: engenheiros, gerentes, mestre de obra, fornecedores e encarregados.

Nessa etapa, utiliza-se, novamente, a Linha de Balanço, desta vez aplicada a todo empreendimento e, conseqüentemente, a todos processos, sendo necessário, em alguns casos, estudos específicos quanto à sincronização entre os principais processos (SCHRAMM, 2004).

Segundo Rodrigues (2006), as decisões nessa etapa não devem ser muito detalhadas, visto a elevada quantidade de informações e de situações variáveis. E complementa dizendo que a cada grande fase do empreendimento, este planejamento deve ser revisto para incorporar de novas informações e, assim, se possa reavaliar as decisões antigas.

2.2.5 Etapa 5

A Etapa 5 é referente ao dimensionamento da capacidade dos recursos de produção. Baseado no pré-dimensionamento feito na etapa 1 e no estudo de fluxo de trabalho do empreendimento, é possível dimensionar a quantidade de recursos de produção (SCHRAMM, 2004). Segundo Schramm (2004), a partir de um diagrama de sequenciamento de trabalho das equipes é possível determinar o número de equipes, pois pode-se notar se uma mesma atividade será necessária em mais de um lugar ao mesmo tempo. Tendo o número de equipes e a sua composição, calcula-se o volume de recursos (mão-de-obra e equipamentos) necessários (SCHRAMM, 2004).

Para Rodrigues (2006), nessa fase devem ocorrer reuniões entre a engenharia e os fornecedores, buscando entender se o fornecedor conseguirá atender a demanda e, também, se não está ocorrendo um superdimensionamento do prazo. Rodrigues (2006) ressalta que nessa etapa deve-se propor o histograma de mão-de-obra previsto, com informações necessárias para elaborar o dimensionamento das instalações provisórias e o layout de canteiro.

Schramm (2004) conclui dizendo que ao final dessa etapa, deve-se fazer análises para ver se a capacidade mensurada está adequada frente a disponibilidade global de recursos.

2.2.6 Etapa 6

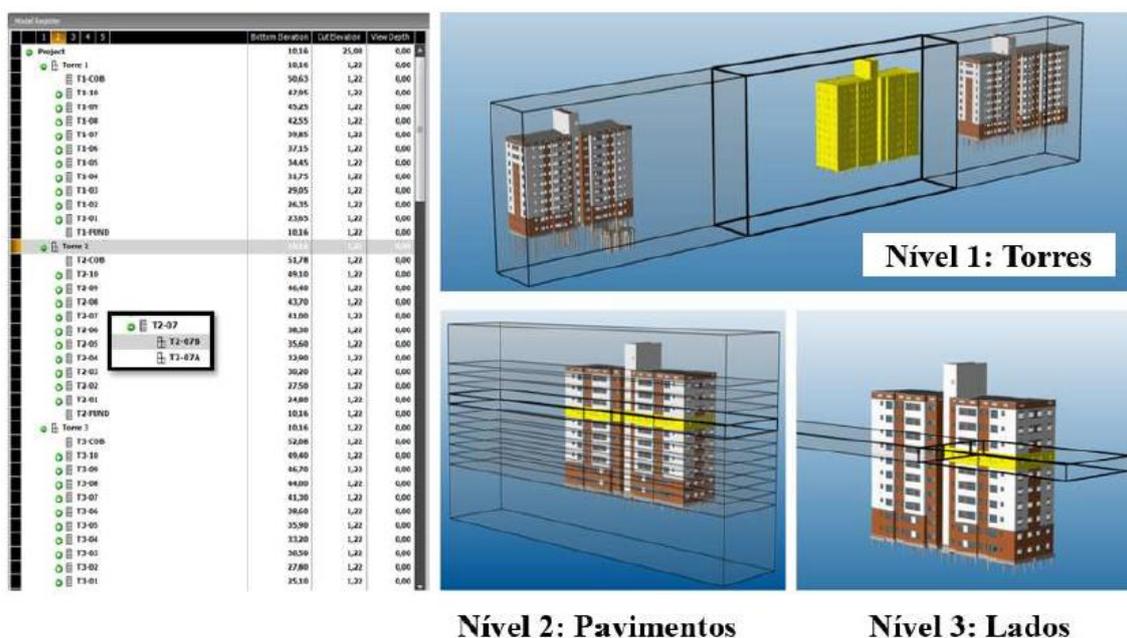
A Etapa 5 é referente à identificação e projeto de processos críticos. Segundo Schramm (2004), alguns processos do sistema de produção merecem um maior cuidado quanto a sua execução. Esses, denominados processos críticos, são os que limitam ou podem vir a limitar a capacidade de produção do sistema global do empreendimento, sendo, respectivamente, um gargalo de produção ou um processo com restrição de capacidade (COX; SPENCER, 1998 apud SCHRAMM, 2004). Schramm (2004) afirma que é possível identificar os processos críticos a partir da definição das sequências de execução, das capacidades disponíveis dos recursos de produção e das demandas geradas a partir do estudo dos fluxos de trabalho do empreendimento. Em seguida, o mesmo autor conclui alertando para o fato de que, processos previstos como críticos podem deixar de ser, tornando outro processo o limitante da capacidade de produção do sistema.

3 ZONAS DE TRABALHO

3.1 CONCEITO GERAL E ELABORAÇÃO DE ZONAS DE TRABALHO

Zonas de trabalhos são volumes bem definidos e delimitados, produtos da quebra do espaço maior que caracteriza o projeto, e tem como objetivo serem usadas para planejar e controlar os fluxos de trabalho que venham a ocorrer nesses espaços (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010 *apud* VARGAS, 2018). Para um planejamento baseado em zonas de trabalho, os mesmos autores dizem que, inicialmente, deve-se definir uma estrutura hierárquica de zonas de trabalho (LBS) (Figura 2), que servirá como referência para o planejamento.

Figura 2: Exemplo de estrutura hierárquica de zonas de trabalho dividida em 3 níveis.



Fonte: (SAUER, 2020)

Para Sauer¹ (2020), a Estrutura hierárquica de zonas de trabalho deve ser desenvolvida antes do início da obra, sendo parte do plano de longo prazo da mesma. Cada hierarquia possui um objetivo diferente e o nível maior, que é usado para analisar o sequenciamento da construção, englobando os níveis menores de zonas de trabalho (VARGAS, 2018). Nesse nível, as estruturas são independentes uma das outras, tendo liberdade na sequência de execução,

¹ Sauer (2020) usa o termo estrutura hierárquica de localização, que nesse contexto quer dizer o mesmo que estrutura hierárquica de zonas de trabalho

podendo ser, inclusive, executadas em paralelo (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010 apud VARGAS, 2018). Kenley e Seppänen (2010) *apud* Vargas (2018) complementam dizendo que, no nível intermediário, as zonas são base para planejar o fluxo de execução da estrutura, e, normalmente, indicam as restrições físicas, já os níveis mais baixos as zonas devem ser pequenas e passíveis de se fazer o planejamento e controle de detalhes e acabamentos.

Vargas (2018) propôs as seguintes diretrizes para a definição de uma estrutura hierárquica de zonas de trabalho:

- a) Qual é a tipologia e a compartimentação do empreendimento?

A tipologia pode sugerir segmentações das hierarquias por andares e apartamentos, por exemplo, em edificações verticais, ou em casas e lote de casas em condomínios horizontais.

- b) Quais as soluções construtivas utilizadas no empreendimento?

Soluções construtivas podem impor restrições ao modo de execução de determinados serviços, influenciando nas definições de zonas de trabalho.

- c) Qual é o grau de repetição que o empreendimento apresenta?

Em empreendimentos repetitivos, os espaços que se repetem podem ser as zonas de trabalho. Já nos casos de projetos sem repetitividade, opta-se por separar zonas com volumes de trabalho semelhantes.

- d) Quais tarefas podem utilizar uma mesma divisão de zonas de trabalho?

Na definição das zonas de trabalho, busca-se a sua aplicabilidade às tarefas de uma mesma fase. Caso não seja possível, cria-se outro sistema de localização adicional.

- e) Como são realizadas as medições dos subempreiteiros e órgãos financiadores?

As unidades de medição de serviço podem ser boas opções para zonas de trabalho.

- f) A empresa vai integrar o controle de qualidade ao controle da produção?

A zona de trabalho pode levar em conta o tamanho do lote de inspeção/verificação, de modo que seja possível executá-la e inspecioná-la no cronograma definido.

3.2 FLUXO CONTÍNUO E REDUÇÃO DO TAMANHO DO LOTE

Segundo Rother e Shook (1999), fluxo contínuo significa produzir um item de cada vez sem que haja estoque deste material entre as etapas de produção. Ou seja, a matéria prima vai passando, sem pausas, por todas fases da produção.

Para Bulhões e Picchi (2011), o primeiro resultado da implementação do fluxo contínuo é a redução do *lead time*, que é o tempo entre o início do primeiro processo de produção e o momento que o último processo é finalizado. Os autores acrescentam que outro conceito importante relacionado ao fluxo contínuo é a velocidade de produção. Segundo Alvarez e Antunes Júnior (2001) apud Bulhões e Picchi (2011), a velocidade de produção é a taxa com que os produtos devem ser entregues aos clientes no tempo solicitado, sendo definida pelo tempo *takt*, o tempo disponível para atender a uma determinada demanda do cliente.

Liker e Meier (2007) propõem que a implementação do fluxo contínuo reduz o tempo de produção, que diminui o custo do ciclo e pode levar a melhorias de qualidade. E complementa, colocando que a criação do fluxo induz a correção de problemas, resultando em redução de perdas.

Segundo Reinertsen (1997) apud Bulhões e Picchi (2013), a redução do tamanho dos lotes de informação é uma das ferramentas mais importantes para gerenciar o processo de projeto em situações de incerteza e interdependência entre as atividades. O mesmo autor afirma que, devido à natureza do processo de projeto, pode haver grande incerteza em relação à chegada das informações de entrada das atividades de projeto, assim como quanto à duração das mesmas, o que pode resultar em filas de atividades no processo de projeto.

No contexto da construção civil, Trescastro (2005) aponta que há benefícios na redução do tamanho do lote de projetos em empreendimentos rápidos, complexos e com grande incerteza. Segundo o mesmo autor, a redução do tamanho do lote também ajuda na redução do lead time de projeto.

3.3 PLANEJAMENTO DE CANTEIRO DE OBRAS

Para Formoso e Ino (2003), o planejamento de um canteiro de obra pode ser descrito como o planejamento da distribuição dos elementos (layout) e de como será o funcionamento

(logística) das suas instalações provisórias, sistemas de segurança, sistema de movimentação e armazenamento de materiais. Planejar o layout envolve definir o arranjo físico de trabalhadores, de materiais, de equipamentos, de áreas de trabalho e de estocagem (FRANKENFELD, 1990 *apud* FORMOSO; INO, 2003). Segundo Formoso e Ino (2003, p.338):

“... o planejamento logístico estabelece as condições de infraestrutura para o desenvolvimento do processo produtivo, estabelecendo, por exemplo, as condições de armazenamento e transporte de cada material, a tipologia das instalações provisórias, o mobiliário dos escritórios ou as instalações de segurança de uma serra circular. “

Formoso e Ino (2003) ressaltam que as definições de segurança no trabalho, não relacionadas diretamente com aspectos de proteção física, como treinamento de mão-de-obra e análises de riscos, não fazem parte do escopo de planejamento de canteiro, dado as especificidades e a complexidade do planejamento de segurança.

O objetivo de se realizar um planejamento de canteiro de obra é se obter o melhor aproveitamento do espaço físico disponível, de modo que haja segurança e eficiência no trabalho das equipes produtivas e máquinas, principalmente, por meio da redução das movimentações, seja de materiais, equipamentos ou operários (SAURIN; FORMOSO, 2006).

De acordo com Illingworth (1993) *apud* Saurin e Formoso (2006), os canteiros de obra podem ser classificados pelos três seguintes critérios: restritos, amplos e longos e estreitos. O autor os define no Figura 3.

Figura 3: Descrição dos tipos de canteiro de obra

Tipo	Descrição
1. Restritos	A construção ocupa o terreno completo ou uma alta percentagem deste. Acessos restritos.
Exemplos	Construções em áreas centrais da cidade, ampliações e reformas
2. Amplos	A construção ocupa somente uma parcela relativamente pequena do terreno. Há disponibilidade de acessos para veículos e de espaço para as áreas de armazenamento e acomodação de pessoal.
Exemplos	Construção de plantas industriais, conjuntos habitacionais horizontais e outras grandes obras como barragens ou usinas hidroelétricas.
3. Longos e estreitos	São restritos em apenas uma das dimensões, com possibilidade de acesso em poucos pontos do canteiro.
Exemplos	Trabalhos em estradas de ferro e rodagem, redes de gás e petróleo, e alguns casos de obras de edificações em zonas urbanas.

Fonte: Adaptado de Illingworth (1993) apud Saurin e Formoso (2006)

3.3.1 Etapas para realizar um planejamento do canteiro de obra

Saurin e Formoso (2006) descrevem um método para a elaboração de um planejamento de canteiro de obra e como empresas devem gerenciar esse processo nas obras. Alguns pontos deste método foram considerados importantes e são apresentados de forma resumida a seguir.

Inicialmente deve-se desenvolver e analisar a planta de layout, para observar problemas no arranjo físico decorrentes da localização errada de algum elemento ou do excesso cruzamentos de fluxo em determinado local (SAURIN; FORMOSO, 2006). Para os autores, na impossibilidade de se gerar uma planta, pode-se gerar um croqui, mas ambos devem conter uma lista de itens mínimos:

Análise preliminar: nesta etapa deve ocorrer a coleta e a análise de dados de projetos e do local. Nesta fase deve-se coletar os seguintes itens: instalações de canteiro e suas áreas; informações sobre o terreno (árvores, redes de esgoto antigas, movimento das ruas do seu entorno, redes de alta tensão próximas); definições técnicas da obra, ou seja, as tecnologias construtivas adotadas (alvenaria estrutural ou estrutura em concreto armado, laje pré-moldada ou moldada in loco, concreto usinado ou feito in loco); cronograma de mão de obra, deve-se estimar o número de

operários nas fases de implantação, pico e desmobilização da obra; cronograma físico; consulta ao orçamento;

- a) Arranjo físico geral: também denominado como macro-layout, irá situar cada elemento do canteiro (vestiários, almoxarifado, centros de produção) analisando o posicionamento relativo entre os mesmos;
- b) Arranjo físico detalhado: envolve o refinamento das definições do item anterior, como a localização dos equipamentos e os projetos de vestiário, refeitório e banheiro;
- c) Detalhamento das instalações: planejar a infraestrutura necessária para o funcionamento das instalações.
- d) Cronograma de implantação: deve demonstrar de forma gráfica e sequencial as fases do layout.

4 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado para o desenvolvimento deste trabalho foi o de estudo de caso. Segundo Yin (2001), o estudo de caso é uma estratégia que tem por objetivo investigar um tópico empírico, seguindo um conjunto de diretrizes pré-estabelecidas. O autor complementa que a coleta e a análise de dados também fazem parte do método, mas detalha: as situações que se propõem utilizar o estudo de caso, devem apresentar mais variáveis que pontos de dados e, assim, deve basear-se em várias fontes de evidência. O mesmo autor ainda complementa dizendo que o método se beneficia do desenvolvimento prévio de proposições teóricas para conduzir a coleta e análise de dados. A estratégia de pesquisa se mostrou adequada para o objetivo deste trabalho, uma vez que este terá como base um caso real para o desenvolvimento de um projeto.

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A pesquisa realizada foi realizada em 3 grupos de atividades: revisão bibliográfica, coleta de dados e desenvolvimento do PSP. Esses grupos de atividades não podem ser apresentadas de forma sequencial, em uma linha cronológica de execução, dado que estudos de uma atividade produzem resultados que influenciavam nas outras. Assim, criou-se um processo iterativo de estudos. As atividades serão descritas a seguir.

4.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho foi realizada objetivando o suporte para o desenvolvimento de um PSP aplicando conceitos de zoneamento de lotes de produção e de redução do tamanho lote. Nesse momento foi feita a leitura das dissertações de mestrado de Fabio Schramm, de Alana Rodrigues e de Fabrício Vargas.

Com a base de aprendizados desenvolvida durante a disciplina Gerenciamento da Construção II, a compreensão das bibliografias foi facilitada, tornando o desenvolvimento do trabalho mais fluido. No mesmo sentido, em diversos momentos foram importantes os conhecimentos adquiridos na disciplina eletiva Alvenaria Estrutural, que o autor cursou concomitantemente a realização deste trabalho.

Os estudos iniciaram pelo trabalho de Schramm (2004). A partir deste, foi concebido que o

Projeto do Sistema de Produção seria um método aplicável para o caso em estudo. Os empreendimentos apresentados por Schramm, nos quais foram aplicados o método de desenvolvimento do PSP, possuem semelhanças com a obra trazida para este trabalho, permitindo que algumas inferências importantes fossem feitas.

Buscou-se, além dos trabalhos citados, o estudo de outros materiais do assunto que fossem aplicados a construção civil e, mais especificamente, a obras repetitivas, o que aproximaria o conteúdo do respectivo trabalho as necessidades deste.

4.3 COLETA DE DADOS

O autor do trabalho atua como estagiário da empresa Y, assim, foi possível que reuniões fossem feitas com o diretor da área de engenharia, quem trata do desenvolvimento de novos empreendimentos e que possui experiência na atuação em obras já realizadas pela empresa. A partir desses encontros foi possível o acesso aos dados do projeto do empreendimento em questão e, também, a dados de obras antigas, fato importante para os estudos feitos para o planejamento da obra X. Não houve barreiras quanto ao acesso à informação pela empresa para o desenvolvimento do trabalho.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO PSP

A partir do estudo do referencial bibliográfico, iniciou-se o projeto do sistema de produção. O processo se pautou nas etapas proposta por Schramm (2004) e, assim, foi dividido nas seguintes etapas:

- Coleta de dados;
- Desenvolvimento da sequência de execução;
- Pré-dimensionamento da capacidade de produção e recursos;
- Zoneamento da obra;
- Definição da estratégia de execução do empreendimento;
- Estudo dos fluxos de trabalho;
- Identificação e projeto dos processos críticos.

4.5 DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA OBRA

A empresa Y atua há mais de 40 anos nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, tendo realizado mais de 200 obras de diferentes tipologias, sendo, majoritariamente, residenciais. Atualmente, a empresa possui 3 obras em andamento e uma equipe formada pelos setores de engenharia, de suprimentos, financeiro, de qualidade, de vendas e de segurança do trabalho. Para a execução dos serviços, a empresa conta com empresas terceirizadas. A equipe técnica é composta por funcionários da empresa Y.

O empreendimento X é uma obra residencial a ser executada em Porto Alegre – RS em terreno já definido, tem área total de, aproximadamente, 21000 m², e dimensões aproximadas de 105 m por 195 m. Ocupa uma quadra e terá acesso por duas ruas (Figura 4). Uma delas, denominada rua A, tem dois acessos e medida de frente igual a dimensão menor. A rua B, de dimensão maior, não possui acessos. Do lado oposto a rua A fica a rua C, também de 105 m de frente, porém possuindo apenas um acesso. Apesar do terreno ficar a três quadras de distância de uma avenida bastante movimentada, as ruas A, B e C são de pouco movimento e de fácil acesso. Tais informações serão importantes nas decisões tomadas a respeito da logística de acesso ao canteiro de obras e que são abordadas no trabalho.

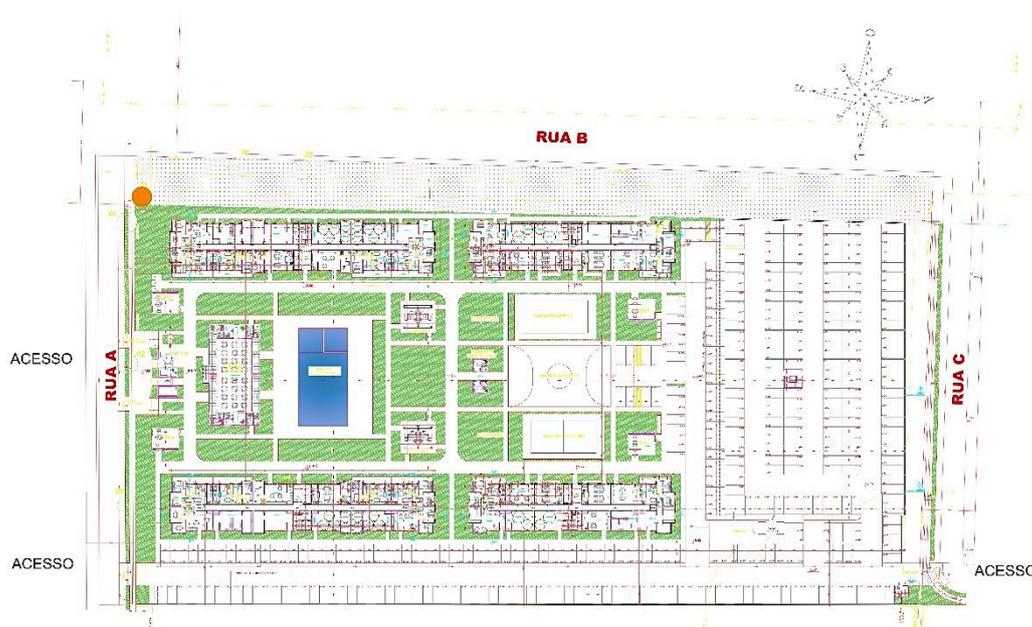


Figura 4: Planta de situação do empreendimento X

O empreendimento é composto por quatro torres residenciais de 15 pavimentos construídos em

alvenaria estrutural. Serão duas torres de 4 apartamentos de 3 dormitórios e 8 apartamentos de 2 dormitórios, por pavimento, e outras duas torres compostas por 4 apartamentos de 2 dormitórios e 8 apartamentos de 1 dormitório, por pavimento. Serão 14 pavimentos de pavimento tipo e o térreo com uso comum, com sala de reuniões, brinquedoteca, espaço para reservatórios de água e outros. No empreendimento também haverá edifício garagem, piscina, quadras poliesportivas e salão de festas, entretanto, este trabalho é focado na execução das torres.

4.6 REUNIÕES OCORRIDAS NO PERÍODO

A seguir são relatadas as reuniões do autor com o engenheiro de obras da empresa Y. As reuniões foram solicitadas ao longo do desenvolvimento do trabalho e de acordo com a necessidade de informações para o seu andamento.

No momento em que este trabalho foi iniciado, o projeto arquitetônico do empreendimento X aguardava aprovação pela prefeitura. A última revisão do projeto arquitetônico, que foi usada para desenvolvimento deste trabalho não sofreu alterações, indicando que essa deve ser a que será executada.

Por questões ligadas ao financiamento, o processo de desenvolvimento do empreendimento estagnou e a situação se manteve assim até o término do trabalho. Isso implicou a não formação de uma equipe gerencial e de uma equipe de planejamento para o projeto, o que impediu que o autor do trabalho pudesse validar ideias junto a profissionais ligados diretamente à obra.

A seguir estão descritas as reuniões ocorridas ao longo do desenvolvimento do trabalho:

- 1ª Reunião: nesse primeiro encontro, o autor buscou saber em qual situação se encontrava o empreendimento X e quais definições já haviam sido feitas. O diretor de engenharia apresentou aquela, que naquele momento, era a versão mais atualizada da planta de implantação do empreendimento.
- 2ª Reunião: validação do pré dimensionamento das capacidades de produção (tabelas TCPO) e de recursos. Nessa reunião foram apresentados os dados da empresa. Foi também validada a estratégia de execução do empreendimento.
- 3ª Reunião: Revalidação da proposta.

5 PROJETO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA OBRA X

Nesse capítulo estão apresentados os resultados do Projeto de Sistema de Produção. O desenvolvimento foi baseado no método de Schramm (2004) e teve o apoio setor de engenharia da empresa Y, que validou as propostas e deu suporte para modificações no trabalho.

O Projeto do Sistema de Produção teve seu início na primeira semana de fevereiro de 2023 e seu término no fim do mês de março de 2023. Nesse período aconteceram reuniões entre o autor e o diretor da área de engenharia da empresa Y para coleta de dados.

5.1 COLETA DE DADOS

Inicialmente o autor do trabalho teve o conhecimento de que o empreendimento X seria um projeto concebido pela empresa Y, que atuaria como construtora e incorporadora. Durante todo o período de desenvolvimento do trabalho não foi definido o método de financiamento do negócio. Foi explicado pelo diretor de engenharia que a empresa trabalhava com duas possibilidades: a primeira seria o financiamento por um fundo de investimentos, o qual injetaria 100% do valor estimado no início das operações; e a segunda opção seria o financiamento por algum banco, na qual a empresa Y iniciará a obra com recursos próprios e a partir de 30% do avanço físico, o banco começaria a emprestar valores de acordo com o andamento da execução. O entendimento do engenheiro, para ambos os casos, é que após o *start* das operações, o empreendimento iniciaria com os mesmos parâmetros, ou seja, o método de financiamento não influencia no prazo final de 24 meses. O início das operações de execução é previsto para o segundo semestre de 2023.

Ao longo do desenvolvimento do trabalho, os projetos arquitetônicos dos pavimentos tipo e implantação da obra passaram por algumas alterações, e isso foi colocado como algo que pudesse vir acontecer novamente. Entretanto, essas configurações se mantiveram até o fim deste trabalho, as quais estão descritas a seguir. O projeto de quatro torres residenciais de padrão médio será executado em alvenaria estrutural. Já estava previsto, também, a construção de um edifício garagem, de um salão de festas, de uma academia, de dois quiosques, de uma piscina, de uma quadra poliesportiva, de duas canchas de *beach tênis* e de um *playground*. O engenheiro justificou a escolha do método construtivo em alvenaria estrutural em razão da alta

no custo do concreto e, principalmente, do aço. O fato da empresa não ter realizado obras em alvenaria estrutural nos últimos anos foi um ponto contrário a decisão, mas o fator financeiro foi decisivo.

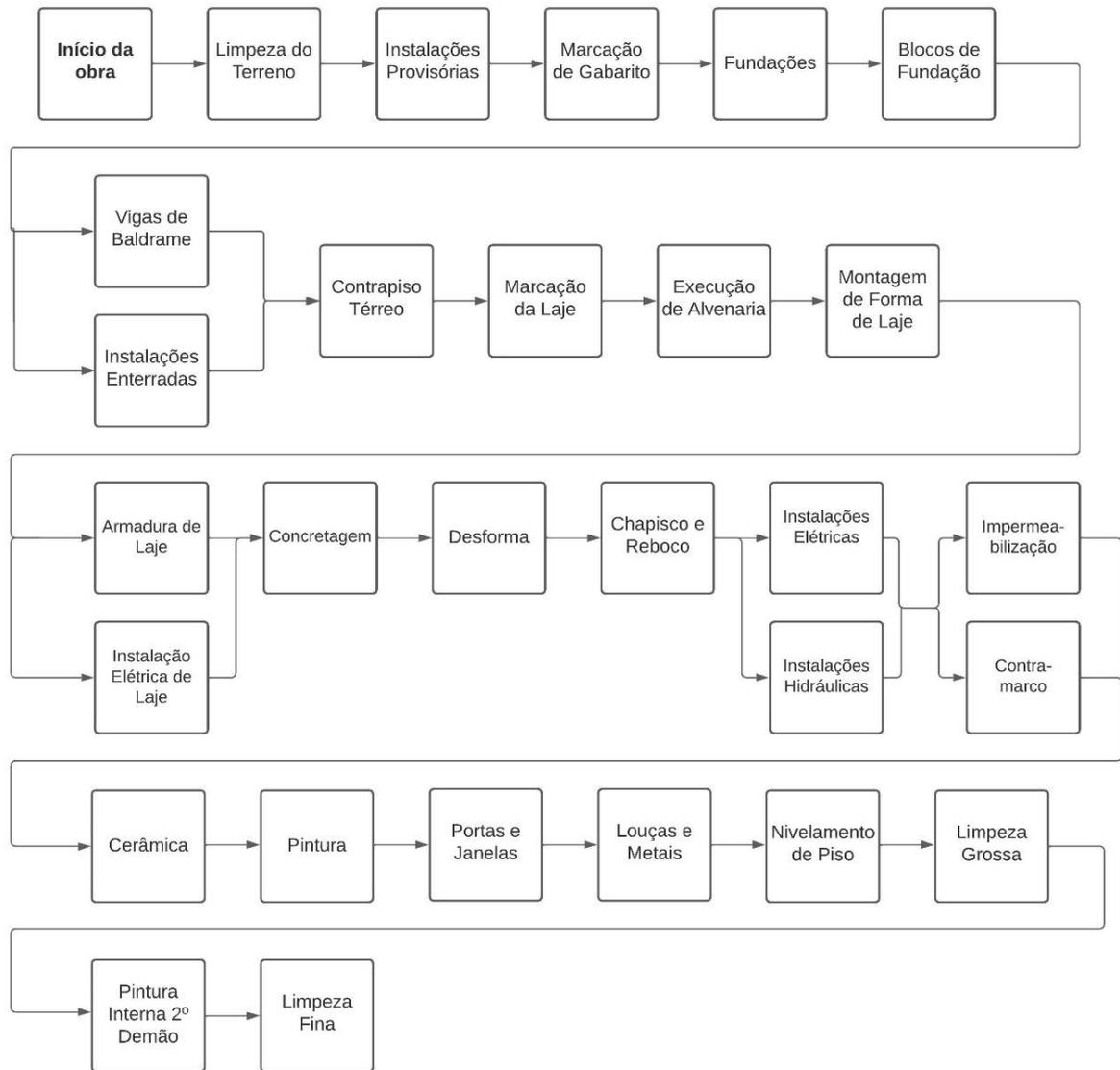
Ainda na primeira reunião foi conversado sobre alguns recursos de produção. A empresa Y contará com equipe de engenharia, almoxarife, engenheiro(a) e técnico(a) de segurança do trabalho e técnico(a) administrativo. Os serviços de execução de obra serão feitos por empresas terceirizadas parceiras da empresa Y. Em relação a contratação e a execução de atividades por empreiteiros, o engenheiro confia nesse sistema para o bom andamento do empreendimento.

5.2 SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO

A segunda etapa do desenvolvimento do PSP foi a elaboração da sequência de atividades. Para a realização desta etapa, fez-se, primeiramente, a análise de planejamentos de obras antigas da empresa Y. Não foi possível localizar, nos arquivos da empresa, nenhum planejamento de obra executada em alvenaria estrutural. Assim, estudou-se os arquivos de obras realizadas com estrutura em concreto armado fazendo correlações de algumas atividades, quando possível.

A primeira opção proposta pelo autor foi levada para discussão junto a empresa. A conversa com o engenheiro e diretor da área de engenharia se pautou, principalmente, naquelas atividades que poderiam ser realizadas por diferentes equipes, no mesmo local, ao mesmo tempo, como por exemplo, impermeabilização e colocação de contramarco. Outro ponto que foi discutido foi entendimento de que algumas atividades, apesar de diferentes, podem ser realizados pela mesma equipe, como por exemplo, a execução de chapisco e reboco e instalação de louças e metais. Ao final foi proposta a sequência de atividades apresentadas na Figura 5.

Figura 5: Sequenciamento de atividades



Fonte: Elaborado pelo autor

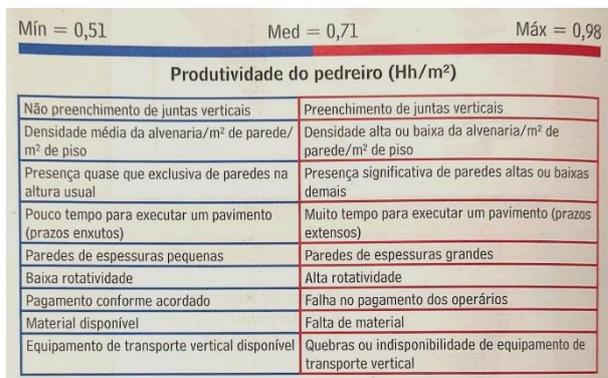
5.3 PRÉ - DIMENSIONAMENTO DAS CAPACIDADES DE PRODUÇÃO

Nessa fase foi realizado o pré-dimensionamento das capacidades de produção. Visto que o empreendimento do estudo tinha apenas o projeto arquitetônico definido, inferências precisaram ser feitas nesse momento.

O dimensionamento começou pelo processo considerado crítico, como execução de alvenaria, que será abordado, posteriormente, com mais detalhes. Usou-se como base os índices de

produtividade presentes nas Tabelas de Composição e Preços para Orçamentos (TCPO) da PINI (Figura 6).

Figura 6: Índices de produtividade de pedreiro na execução de alvenaria estrutural



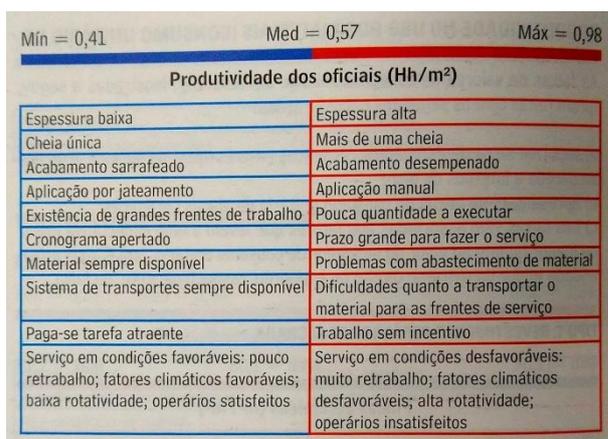
Fonte: (TCPO 13^a edição, PINI, 2008)

Mais uma vez, os dados de obras passadas serviram para validar e balizar o dimensionamento das capacidades de produção da obra. Nesse processo o autor do trabalho contou com a ajuda do diretor de engenharia da empresa Y. Tanto pelos dados, quanto pela percepção do engenheiro, os índices de produtividade que estavam sendo usados, advindos da TCPO, estavam prevendo uma produção bem abaixo do que, provavelmente, virá ser praticada.

O índice médio de produtividade de execução de alvenaria estrutural da TCPO, de 0,71 hh/m² (homens hora por metro quadrado), quando convertido para consumo de mão-de-obra gera o valor de 11,3 m² de produção, por dia por operário. Esse último valor foi considerado baixo, sendo alterado para 15 m²/dia. Esse novo valor foi estimado com segurança pelo engenheiro, que relatou ser plausível esse número chegar perto dos 19m²/dia.

Para a execução do chapisco e do reboco, repetiu-se o processo descrito acima. A Tabela da TCPO apresentou o valor médio de produtividade de 0,57 hh/m² (Figura 7), que convertido para consumo de mão-de-obra, gerou o valor aproximado de 14 m² por dia por operário. Nesse caso, chegou-se ao valor de 20 m² /dia como mais adequado.

Figura 7: Índice de produtividade de pedreiro na execução de reboco em parede interna



Fonte: (TCPO 13ª edição, PINI, 2008)

5.4 ZONEAMENTO DA OBRA

A etapa de zoneamento da obra em zonas de trabalho foi de grande importância para o desenvolvimento do trabalho. Dado que esse estudo se foca na execução das quatro torres residenciais, a divisão em zonas foi feita, apenas, para essas torres. O processo de execução da alvenaria estrutural, definido como processo crítico e abordado com mais detalhes posteriormente, foi o balizador das escolhas no desenvolvimento das opções de zoneamento desenvolvidas. Visto que todas as demais atividades têm como predecessora a execução da alvenaria, as divisões das zonas de trabalho foram pensadas de modo a facilitar que esse serviço sempre tenha frente de trabalho.

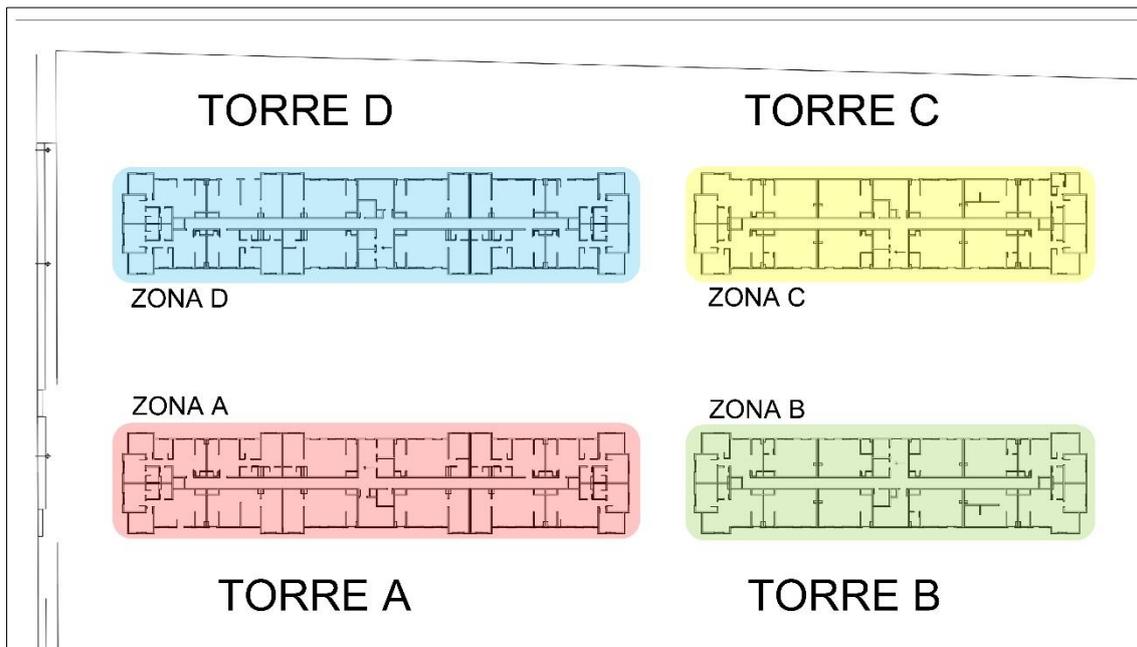
As definições da capacidade de produção e do fluxo de trabalho para o serviço de alvenaria, assim como para o de execução de laje, foram significativamente importantes para as definições do zoneamento, demonstrando a iteratividade do processo de desenvolvimento do Projeto de Sistema de Produção. E, assim como a capacidade de produção, outros fatores também influenciaram diretamente no zoneamento, como os fluxos de trabalho e a estratégia de execução do empreendimento.

Foram desenvolvidas duas opções de estruturas hierárquicas de zonas de trabalho que serão apresentadas a seguir:

Opção 1: foi proposta a divisão no primeiro nível pelas torres e no segundo nível por pavimentos (Figura 8). Nessa opção, o lote ficaria bem definido e se repetiria 30 vezes, dado

que as torres são iguais em pares e possuem 15 pavimentos cada. Porém o lote de produção e de transferência tem tamanho bastante grande. Desse modo, para se referir a uma determinada zona de trabalho, necessita-se, apenas, identificar a torre e o pavimento, por exemplo: torre A, 3º pavimento.

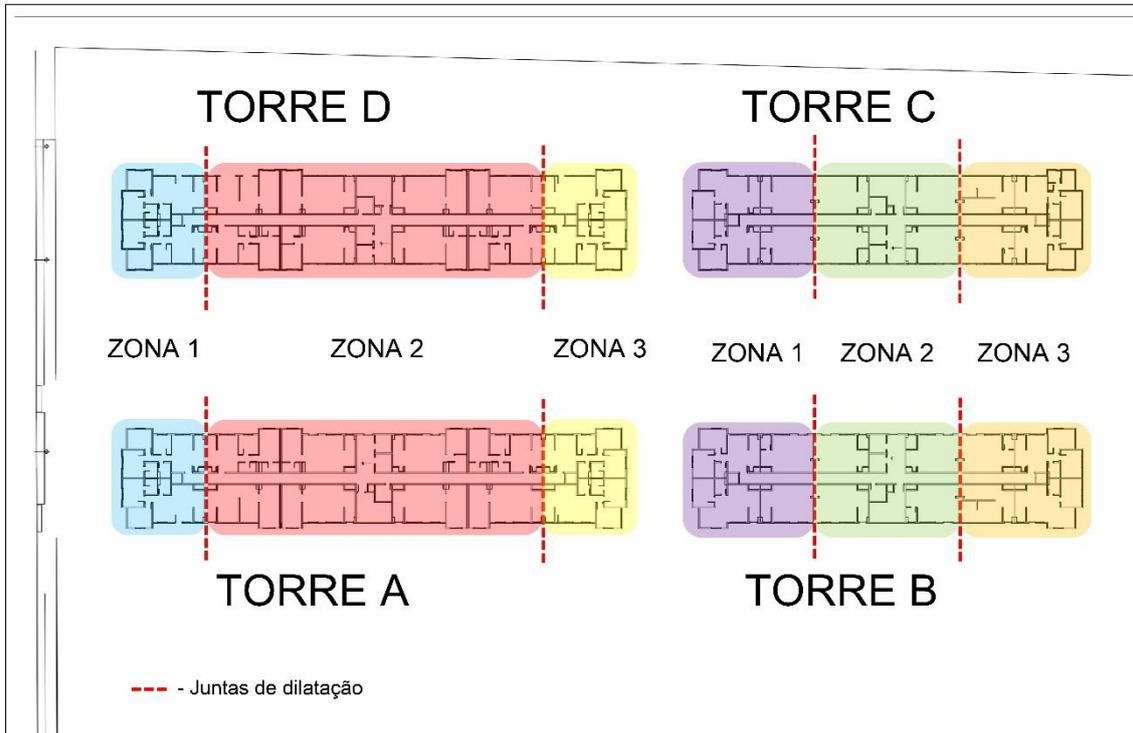
Figura 8: Opção 1 de zoneamento



Fonte: Elaborado pelo autor

Opção 2: foi proposta classificar o primeiro nível por torres e o segundo nível por zonas do pavimento delimitadas pelas juntas de dilatação (Figura 9). Essa opção se fez interessante ao passo que, estando separadas por juntas de dilatação, as zonas podem ter suas lajes concretadas em momentos diferentes, o que pode gerar diferentes estratégias de execução das torres. Ambos os layouts possuem duas juntas de dilatação por pavimento, porém não o separam em áreas iguais, como pode ser observado na tabela apresentada na Figura 10. Desse modo, para se referir a uma determinada zona, necessita-se identificar a torre, o pavimento e a zona, por exemplo: torre B, 5º pavimento, zona 3.

Figura 9: Opção 2 de zoneamento



Fonte: Elaborado pelo autor

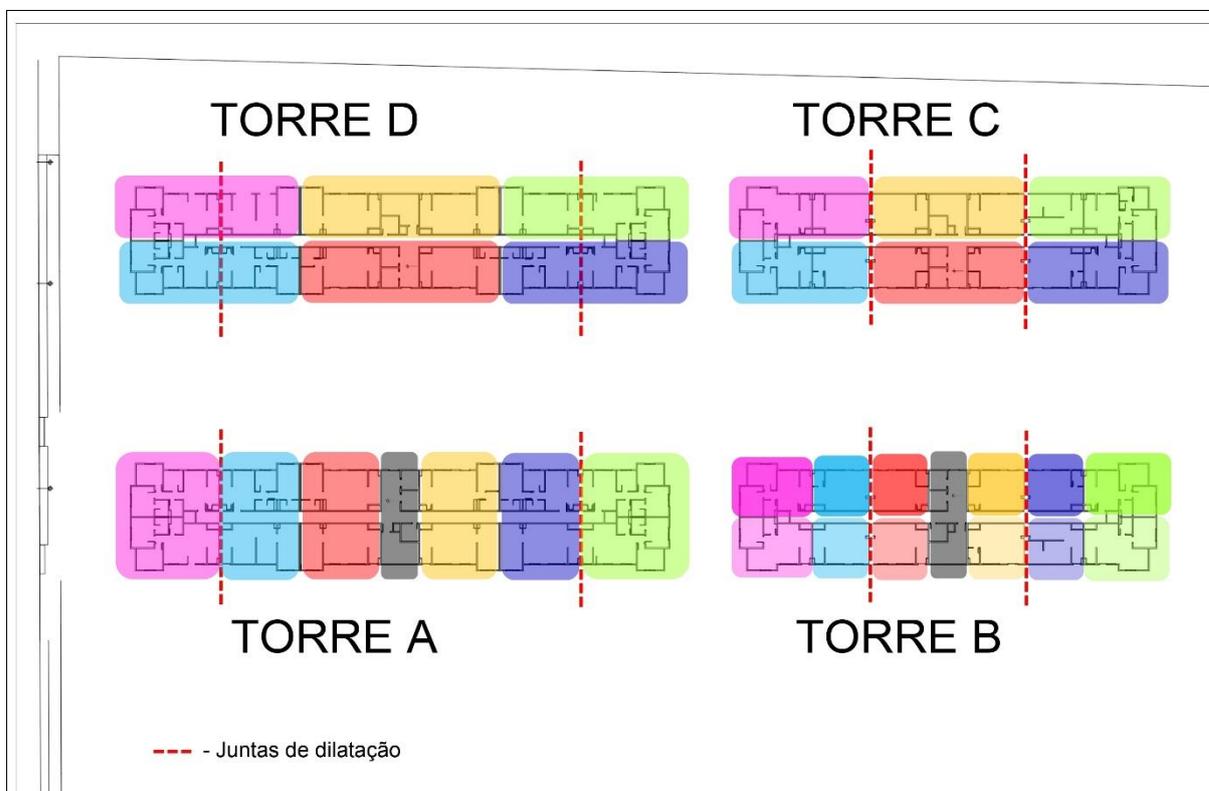
Figura 10: Dados de metragem quadrada das zonas de trabalho

Áreas (m ²)	Torre A / D			TORRE B / C		
	Piso	Parede	Faces de paredes	Piso	Parede	Faces de paredes
Zona 1	128	292	468	185	344	552
Zona 2	517	853	1837	216	379	816
Zona 3	128	292	468	185	344	552

Fonte: Elaborado pelo autor

Outra proposta analisada foi a de reduzir o tamanho do lote a um ou dois apartamentos (Figura 11), reduzindo o lote de produção e, também, o lote de transferência. A literatura indica que esta definição poderia otimizar tempos de ciclo e aumentar o ritmo de produção. Contudo, houve o entendimento de que para realizar essa redução do tamanho do lote de produção, o grau de detalhamento do projeto subiria consideravelmente e de que isto não seria praticável e nem geraria resultados confiáveis, dado que existem muitas outras indefinições em relação a este empreendimento, como os demais projetos além do arquitetônico, e a capacidade de produção das empresas que virão a ser contratadas.

Figura 11: visualização da redução do tamanho dos lotes de produção



Fonte: Elaborado pelo autor

Para as propostas 1 e 2 foram desenvolvidas estratégias de execução do empreendimento e realizado estudos dos fluxos de trabalho, representados por linhas de balanço que estão mostradas nos itens a seguir.

5.5 DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO;

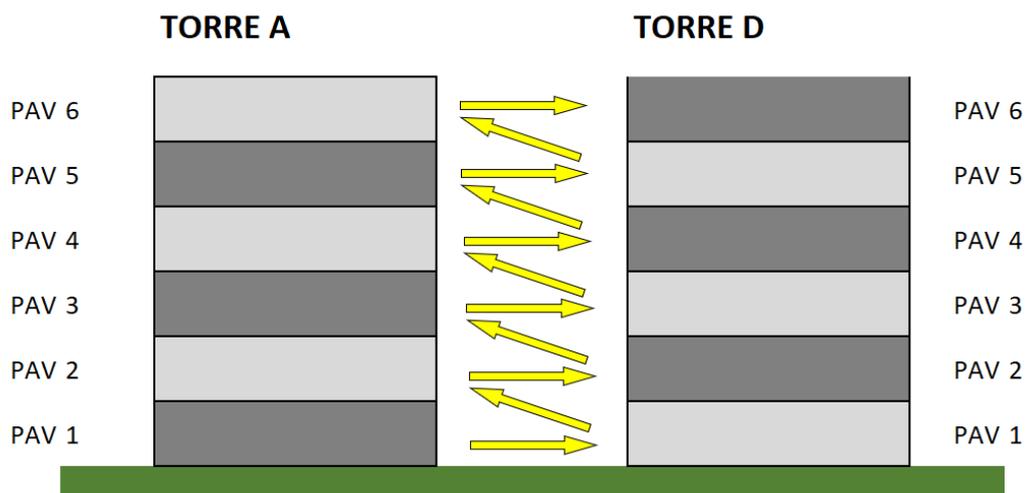
Elaboradas as opções de zoneamento da obra e a sequência de execução, realizou-se os estudos em torno da estratégia de execução do empreendimento, ou seja, qual serão as trajetórias que as equipes de trabalho iriam percorrer no desenvolvimento de suas atividades. Um ponto importante a ser analisado nessa etapa é a logística de movimentação de materiais dentro da obra. Porém, nessa obra, este não foi um ponto que gerou preocupações, dado que o terreno possui três acessos por dois lados opostos e uma área de movimentação bastante ampla. Ainda que o layout do canteiro não estivesse definido ao iniciar esta etapa, pensou-se a

estratégia de execução como prioridade, mas sabendo que adaptações poderiam ser feitas posteriormente a partir de restrições do layout.

Assim como foi citado anteriormente, a execução da alvenaria estrutural teve grande influência no desenvolvimento das estratégias de execução. Foram pensadas duas opções de estratégias de execução das torres do empreendimento. Tomando como base a opção 1 de zoneamento desenvolvida na etapa anterior, desenvolveu-se a opção 1 de estratégia de execução, e da mesma maneira criou-se a opção 2:

Opção 1: seriam formadas duas equipes para cada serviço, uma delas destinada a trabalhar alternadamente entre a torre A e a torre D e a outra entre a torre B e a torre C. Essa definição se faz pelas torres A e D serem iguais entre si, o mesmo entre a torre B e C, assim, uma equipe executaria sempre o mesmo projeto, aumentando o efeito aprendizagem. Como o tamanho do lote de produção é um pavimento, a equipe de alvenaria, por exemplo, iria executar todo o primeiro pavimento da torre A e depois faria o mesmo na torre D (ou o contrário), e, posteriormente indo para o segundo pavimento da torre que executou primeiro, e assim por diante. As equipes de montagem de forma e concretagem de laje seguem a equipe de alvenaria na sua trajetória, assim como todas as outras equipes subsequentes. Uma representação gráfica da opção está colocada na Figura 12.

Figura 12: Esquema da trajetória das equipes de trabalho até o sexto pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor

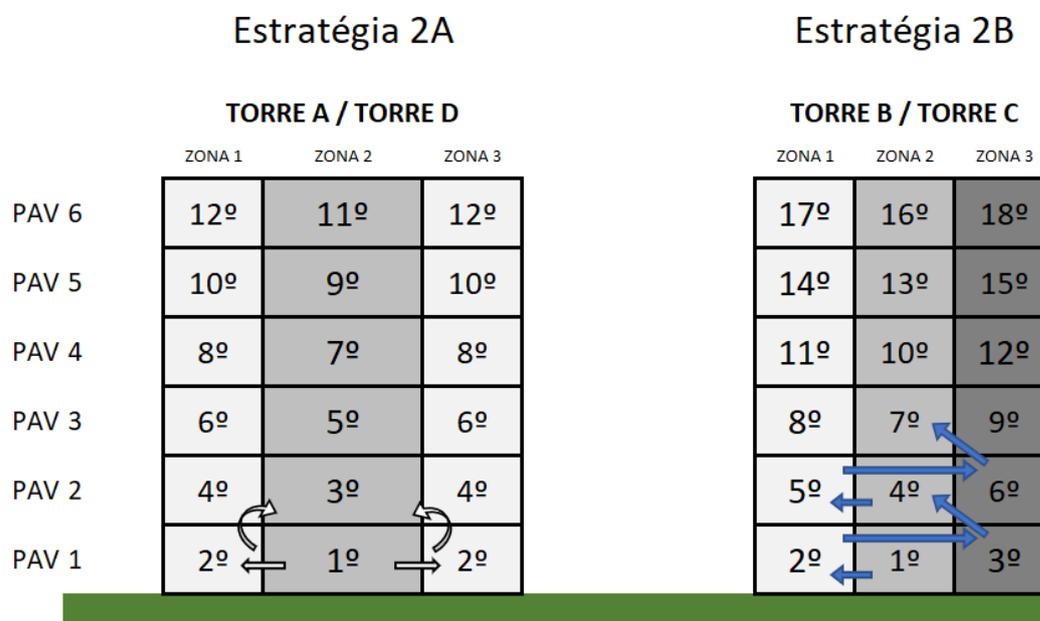
Opção 2: A estratégia de execução criada a partir da opção 2 de zoneamento será subdividida

em estratégia 2A e estratégia 2B. Isso se fez necessário pelas configurações de zoneamento diferentes criadas a partir dos diferentes layouts dos pavimentos. Assim, a estratégia 2A versará sobre as trajetórias de execução nas torres A e D, já a estratégia 2B irá explicar os percursos pensados para as torres B e C.

Estratégia 2A: com o pavimento dividido em 3 zonas sendo uma delas (zona 2) consideravelmente maior que as outras duas (zona 1 e zona 3), definiu-se que estas duas menores formariam um lote, e assim seriam executadas ao mesmo tempo, alternando com a zona 2. Viu-se essa possibilidade pelo fato de que a medida das metragens de parede das zonas 1 e 3, quando somadas, chegavam a um valor próximo a metragem de parede da zona 2. Assim, o lote composto pelas zonas menores ficou com 584 m² de parede, o que representa, aproximadamente, 40% do total do pavimento, já a zona maior, possui 823 m², aproximadamente, 60% do pavimento. A execução se inicia pelo lote central, então migra para as extremidades, e após isso, retorna para o centro no segundo pavimento, e assim por diante. Uma representação gráfica do esquema encontra-se na Figura 13.

Estratégia 2B: nas torres B e C, as juntas de dilatação separaram o pavimento em áreas mais parecidas. Assim, definiu-se que elas podem ser executadas em sequência, desde que a primeira a ser construída seja a zona central. Isso se faz necessário por mais de um motivo: o primeiro deles é que, provavelmente, nessa região será instalado o elevador cremalheira, logo não teria como começar a execução por uma zona que não possui acesso; e o segundo é por ser um ponto central, ou seja, tem menor distância até as extremidades do pavimento, o que na prática diminui o deslocamento dos operários e de algum material entre o elevador e o local onde precisar chegar. Uma representação gráfica do esquema encontra-se na Figura 13.

Figura 13: Trajetória das equipes de trabalho da opção 2



Fonte: Elaborado pelo autor

Percebeu-se que tanto para a opção 1 quanto para opção 2 poderia ser criada uma segunda trajetória para os serviços pós execução de alvenaria e laje. Nesse sentido, seria uma alternativa diminuir o tamanho do lote, como representado anteriormente na Figura 11, porém, entendeu-se que o plano começaria a ficar detalhado demais para o estágio em que o desenvolvimento do empreendimento se encontra, ou seja, sem uma equipe de planejamento formada, não tendo todos os projetos e sem empresas contratadas para a realização dos serviços. Esse entendimento foi semelhante ao de Rodrigues (2006), que considera que as características complexas dos empreendimentos, como, por exemplo, alto grau de incertezas, grande número de partes envolvidas e elevada interdependência entre os processos, torna inviável detalhar todas as decisões no seu início. Em relação ao empreendimento como um todo, definiu-se que a melhor opção será executar primeiro a estrutura das torres D e C e, posteriormente, as torres A e B. Concomitantemente a construção das torres será feito o edifício garagem, e por último os demais espaços (salão de festas, piscina, quadras de esporte, entre outros). O desenvolvimento desta estratégia se deu juntamente com a elaboração do layout do canteiro e justifica-se, principalmente, pelos locais das instalações provisórias e pelos deslocamentos horizontais previstos dentro do canteiro de obras. O processo de planejamento do canteiro de obra será

abordado a seguir.

5.6 LAYOUT DO CANTEIRO DE OBRAS

Durante o desenvolvimento do Projeto do Sistema de Produção, notou-se que algumas definições das estratégias de produção implicaram definições no layout do canteiro, e o mesmo acontecia no sentido inverso. Assim, decidiu-se fazer um planejamento do layout do canteiro de obra.

Illingworth (1993) *apud* Saurin; Formoso (2006) apresenta duas regras para os canteiros restritos: sempre atacar a fronteira de maior dificuldade, e criar espaços utilizáveis no nível do terreno o mais cedo possível. Apesar do canteiro de obra retratado não ser restrito enquadrar nessa classificação, considerou-se as regras proposta importante e aplicável ao trabalho.

Como análise preliminar, iniciou-se o estudo coletando dados e analisando as condicionantes do terreno e dos projetos disponíveis. O terreno não apresenta dificuldades para a execução da obra. Se trata de um lote sem vegetação densa ou grandes árvores, onde, aparentemente, nunca houve edificações, eliminando a possibilidade de ter instalações antigas enterradas. Também não apresenta declividades significativas. É importante considerar que a leste existem outras edificações, devendo ser um ponto de atenção durante as obras. A oeste, entre o terreno e a rua B existe uma faixa de, aproximadamente, três metros em que há árvores e também um córrego, o que dificulta o acesso por este lado. Nos limites sul e norte estão os acessos previstos, sendo dois deles localizados bem próximos ao limite que fica a leste, como pode ser visualizado na Figura 14. Junto a estes dois lados, sul e norte, estão, respectivamente, a rua A e a rua C e nelas existem redes de alta tensão, entretanto na rua A a rede fica no lado oposto do passeio e na rua C se encontram as instalações recentes, com postes altos, assim, esse não deve ser um fator que complique os acessos ao terreno. As ruas pelas quais se terá acesso ao terreno não são ruas com grande fluxo de trânsito.

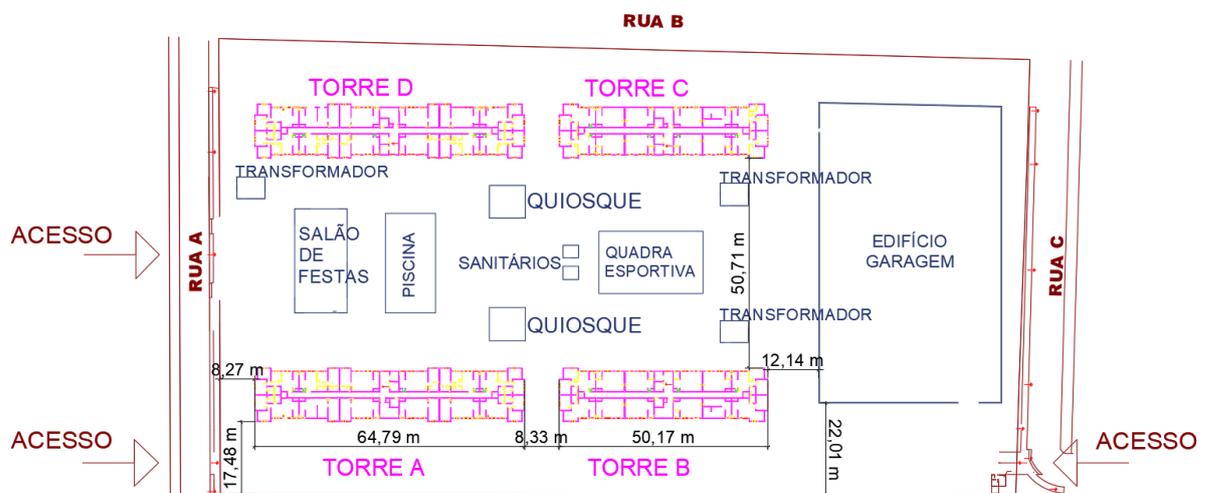
Em reunião com o engenheiro da empresa Y, foram feitas algumas definições em relação as técnicas e tecnologias a serem usadas na obra. A estrutura em alvenaria já estava definida, então, conversou-se sobre a laje e definiu-se que, a princípio, será laje moldada in loco com concreto usinado. Nessa reunião foi levantada pelo autor do trabalho a ideia de se trabalhar com pré lajes moldadas in loco. Em visita a uma obra em alvenaria estrutural junto a turma da

disciplina de Alvenaria Estrutural, o autor pode conhecer o sistema de pré lajes moldadas in loco, sistema que possibilita estocagem e uma maior racionalização do processo. O diretor e engenheiro disse que esse sistema nunca havia sido utilizado nas obras da empresa Y e se mostrou aberto ao desenvolvimento da ideia, mas como o autor necessitava de uma definição para o segmento do trabalho, optou-se, para essa versão do PSP, a forma mais tradicional. Salienta-se que, a partir de novas definições do empreendimento, outras versões do PSP podem ser desenvolvidas.

Definiu-se que argamassa seria produzida no canteiro, por argamassadeira acoplada a um silo de armazenamento da argamassa. E junto à argamassadeira será colocada uma bomba estacionária que bombeará a argamassa pronta direto para os locais onde será usada. Sobre a opção por silo de armazenamento, o engenheiro explicou que ele permite que a compra do produto seja a granel, opção mais barata que a ensacada. Mesmo assim, ressaltou que, na obra, deve-se ter um pequeno estoque de argamassa ensacada para imprevistos com a empresa que faz o abastecimento do silo. Adotando essa medida, deve-se ter um controle do tempo que essa argamassa em saco está estocada para fazer o seu uso antes que a mesma estrague.

Saurin e Formoso (2006) sugerem que se analise, também, o cronograma de mão de obra, o cronograma físico e o orçamento. Os dois primeiros itens serão apresentados em capítulos posteriores e serviram de apoio as decisões tomadas para o canteiro, enquanto o orçamento não foi possível analisar dado que ele ainda não foi realizado.

Figura 14: Localização das edificações dentro do terreno e seus acessos



Fonte: Elaborado pelo autor

Na mesma reunião citada anteriormente, ficou decidido que as obras começariam pela torre D e torre B. Teve-se o entendimento que a porção oeste do terreno possui o acesso mais difícil, dado que os acessos da área externa para o terreno se localizam mais ao leste. Ao encontro dessa ideia, definiu-se que as instalações provisórias ficarão juntas ao limite leste e sul, onde há um acesso externo que deverá ser o acesso de pessoas. Por ali entrarão os operários e, sem passar pela obra, já poderão usar os vestiários, impedindo que os mesmos transitem pelo canteiro sem as roupas adequadas e seus EPI's. Ao lado do vestiário se instalará o refeitório, os banheiros e as salas da equipe técnica. Desse ponto é possível que o engenheiro e demais integrantes da equipe gerencial da obra tenham total visão do canteiro, sendo outro motivo pelo qual não se escolheu começar a obras pelas torres A e B, já que bloqueariam não só a visão do canteiro, mas seriam obstáculos nos fluxos de materiais e, principalmente, de mão-de-obra.

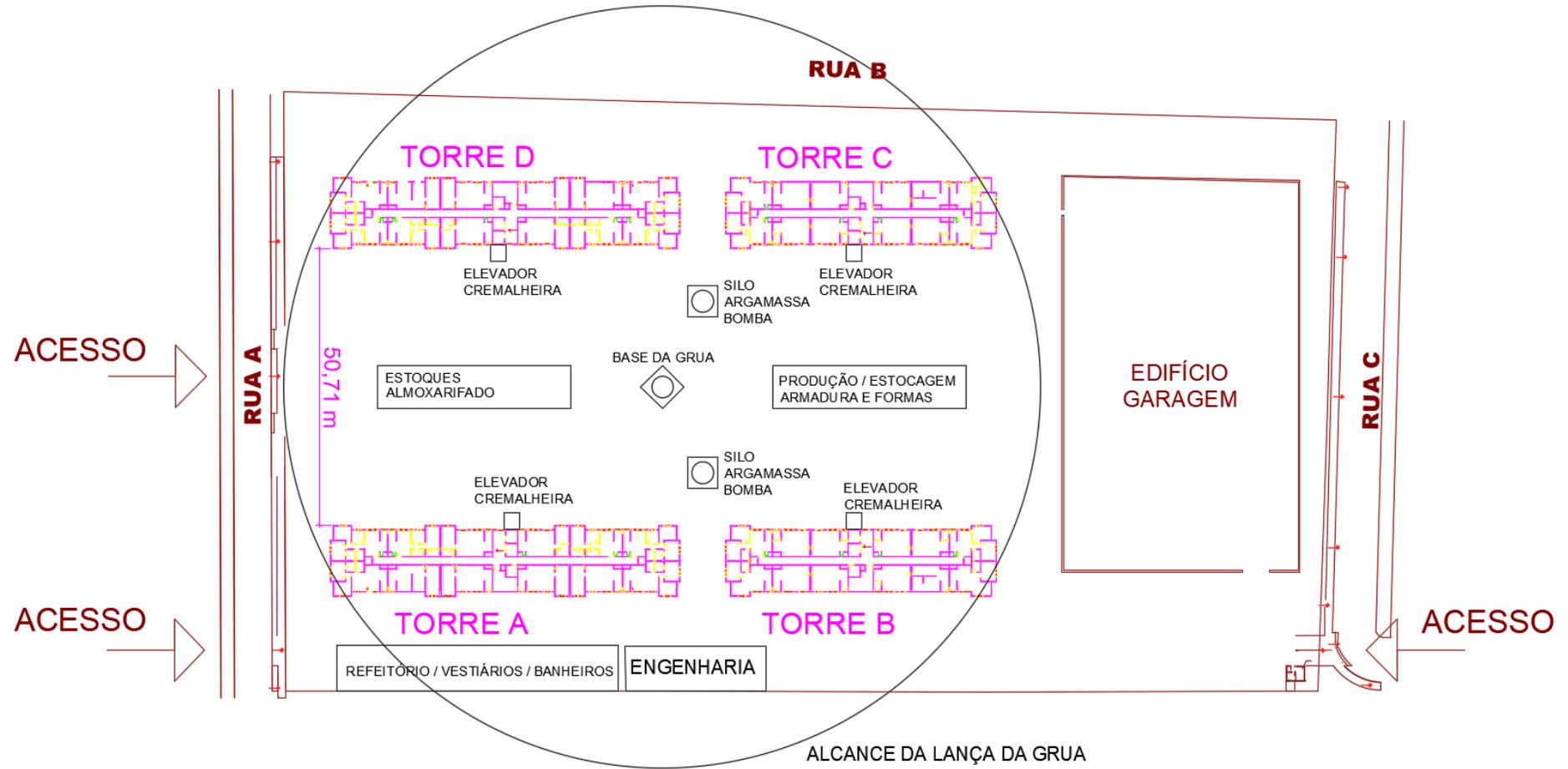
Foi definido que os estoques de materiais ficassem entre torres, diminuindo o trajeto de materiais e de mão-de-obra destes locais até o local onde se executará o serviço. Pelo mesmo motivo, o almoxarifado ficará na mesma região. O silo de armazenamento de argamassa, assim como a argamassadeira e a bomba estacionária ficarão, num primeiro momento, próximos as torres D e C, que serão executadas primeiro, e depois serão deslocados para próximo as torres A e B. A central de corte e de dobra de aço, o local de produção de formas e seus, respectivos, locais de armazenamento ficarão próximos aos locais citados. O acesso centralizado da Rua A foi destinado para descarga de materiais justamente para ter uma trajetória curta até os locais de estocagem.

Juntamente ao engenheiro da empresa Y, desenvolveu-se a ideia de o empreendimento alugar uma grua. Segundo o profissional citado, é perfeitamente viável ter essa solução para deslocamentos verticais e horizontais, dado o porte da obra e o prazo apertado de execução. Estudando a planta de implantação, viu-se que um equipamento com raio de alcance de 70 metros, centralizado em relação as 4 torres, abrangeria as áreas dos 4 edifícios. Com isso, fez-se uma pesquisa para saber se existia um equipamento desse porte e que fosse acessível para o local da obra. Encontrou-se fornecedores locais, indicando ser uma solução viável.

Assim ficou definido o arranjo físico geral do canteiro. Nessa etapa não serão detalhadas posições e medidas. Essa proposição é válida, principalmente, enquanto houver atividade intensa nas torres. Num segundo momento, em que se iniciará a execução dos elementos que

compõe o centro do terreno, estas definições devem ser reavaliadas. O primeiro layout para o canteiro de obra está representado na Figura 15.

Figura 15: Layout do canteiro de obra



Fonte: Elaborado pelo autor

5.7 ESTUDO DOS FLUXOS DE TRABALHO;

O desenvolvimento das propostas dos fluxos de trabalho tem como base as definições e estudos feitos anteriormente. No item zoneamento foram criadas possibilidades diferentes de dividir os volumes da obra em zonas de trabalho, as quais foram chamadas de opção 1 e de opção 2. Posteriormente a isso, foram pensadas estratégias de execução para essas zonas e para obra como um todo. Nesse tópico, para além da trajetória das equipes de trabalho, inseriu-se o fator tempo. Assim, foi definido onde estará determinada equipe em determinada data. Por fim, foram criadas possibilidades de fluxo de trabalho e, para isso, usou-se a técnica de linha de balanço.

O desenvolvimento das linhas de balanço, num primeiro momento, foi aplicado somente a execução das torres. Fez-se isso com o objetivo de dar maior enfoque para essa parte obra que concentra os maiores esforços de gerenciamento, uma vez que haverá diversos serviços e equipes diferentes trabalhando em vários lugares ao mesmo tempo. Assim, tomou-se como ponto de partida os contrapisos das lajes dos primeiros pavimentos já executados.

5.7.1 Opção 1

A primeira opção de zoneamento definiu o espaço de um pavimento como uma zona de trabalho, estando no menor nível da estrutura hierárquica. Assim, adotou-se como premissa para esse estudo de fluxo de trabalho, que apenas uma atividade por vez acontecerá em algum determinado pavimento.

Quando esta opção é analisada para a execução de alvenaria, se mostra uma alternativa interessante ao passo que esse serviço exige grande necessidade de uso dos espaços da laje, seja pela mão-de-obra, seja pelos estoques de blocos e de argamassa, seja pelos andaimes e, também, pela movimentação desses itens, dificultando que qualquer outro serviço possa ser realizado. Assim, reservar o pavimento inteiro só para a execução da alvenaria parece ser uma boa ideia. É pertinente comentar que no caso da alvenaria estrutural não haveria possibilidade de nenhum outro serviço do edifício acontecer antes da execução das paredes, mas pode haver, quando o pavimento dividido em mais zonas, o conflito de espaços e fluxos com o serviço subsequente (montagem de forma de laje) que implica fluxo de grandes peças e ocupação dos espaços onde forem instaladas.

Outro ponto positivo nessa opção é que pela igualdade entre um par de torres. Isto faz com que os serviços ocorram se alternando entre duas torres idênticas, e, assim, a equipe executa sempre o mesmo lote de produção. Esta situação pode ser muito proveitosa pelo efeito aprendizagem, porém deve-se notar que, em uma zona de trabalho tão grande, garantir que o mesmo operário execute sempre as mesmas tarefas pode ser difícil. Usando a execução da alvenaria como exemplo, pode-se dizer que um dos principais motivos dessa dificuldade é a medição de serviço dos funcionários que se faz, na maioria dos casos, pelo metro quadrado construído. Desse modo, é gerada uma concorrência pelas paredes mais fáceis de executar e que garantirão um rendimento maior ao operário que executá-la. Para que isso não ocorra, é necessário o gerenciamento do serviço e um esquema de rotatividade das paredes pelos funcionários que funcione muito bem, dado a importância que o mesmo terá para os funcionários e dado o potencial que tem de gerar conflitos caso não aconteça de forma correta.

Como ponto negativo dessa opção, tem-se que as quatro torres estarão sendo erguidas ao mesmo tempo, o que torna o fluxo dentro do canteiro mais complicado quando comparado com o caso de construir duas torres e depois outras duas. Essa opção também envolve o aluguel de 4 elevadores cremalheira durante, praticamente, toda a obra.

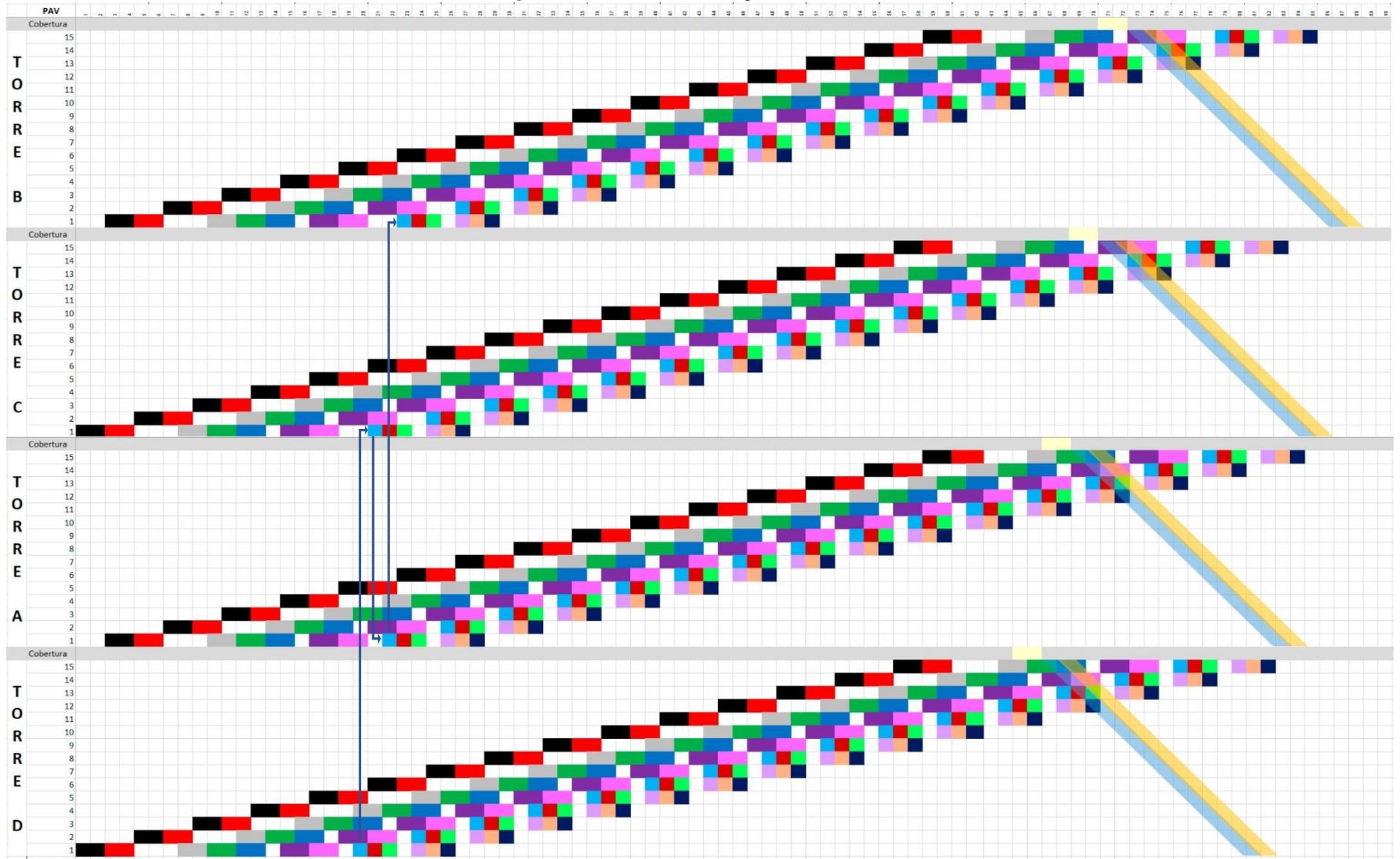
Entretanto, a não escolha dessa opção como a melhor se deve, principalmente, por outros fatores. O arranjo da opção 1 se caracteriza por um grande lote de produção e por um grande lote de transferência. Isso faz com que a tempo entre a finalização de um serviço numa zona de trabalho e a finalização do mesmo serviço na zona seguinte seja de um mês. Esse ritmo lento aumenta o trabalho em progresso, e faz com que os serviços de fachadas também precisem ser executados em todas as torres ao mesmo tempo, implicando, novamente, no aluguel de vários equipamentos (andaime fachadeiro, balancim) ao mesmo tempo.

O desenvolvimento da linha de balanço dessa opção está representado na Figura 16 e 17 e ajudou na visualização e no entendimento dessas características.

Para o bom entendimento das linhas de balanço, alguns pontos devem ser explicados. Existem duas equipes para os serviços de alvenaria, montagem de forma, talisca e reboco, elétrica e hidráulica, impermeabilização e janelas, cerâmica, pintura, reboco externo e pintura externa, e cada uma de sua dupla trabalha alternadamente entre duas torres iguais, ou seja, uma equipe trabalha, somente, nas torres A e D enquanto a outra trabalha nas torres B e C. A explicação se faz necessária por não haver diferença entre equipes da mesma atividade quando representadas

nas linhas de balanço (por meio de cores) e isso se fez para evitar que cores semelhantes às já existentes fossem inseridas nas tabelas. Já as atividades referentes a portas, louças e metais, nivelamento de piso, limpeza grossa, pintura 2ª demão e limpeza fina são compostos por apenas uma equipe cada, que fará a execução das atividades nas quatro torres. Nota-se que foi usada a possibilidade de juntar atividades diferentes que permitem ser executadas na mesma zona, caso das instalações elétricas e hidráulicas, assim como da impermeabilização e colocação de janelas. A atividade que foge, parcialmente, as regras descritas é a execução de talisca e reboco: enquanto na opção 1 ela segue as características das equipes duplicadas, como montagem de formas, na opção 2 são duas equipes trabalhando simultaneamente em cada torre, alternando as zonas de trabalho.

Figura 16: Linha de balanço das 4 torres



Fonte: Elaborado pelo autor

Legenda dos serviços das linhas de balanço da opção 1

Alvenaria		Elétrica e Hidráulica		Portas		Pintura 2 demão	
Montagem de forma		Impermeabilização / Janelas		Louças e metais		Limpeza fina	
Talisca e reboco		Cerâmica		Nivelamento de piso		Reboco externo	
Cobertura		Pintura		Limpeza grossa		Pintura externa	

5.7.2 Opção 2

A segunda opção de zoneamento dividiu cada um dos pavimentos em três volumes separados pelas juntas de dilatação. Assim, cada um desses volumes se tornou uma zona de trabalho, sendo o menor nível da estrutura hierárquica. Diferentemente da opção 1, agora poderá haver conflito nas rotas de deslocamentos entre as equipes de execução de alvenaria e de montagem de forma de laje, pois ambas trabalharão no mesmo pavimento ao mesmo tempo. Tal situação se torna um ponto de atenção para que se evite acidentes, pois evitar o cruzamento de trajetórias nesse momento não é possível.

Com equipes menores do que as formadas na opção 1, na opção 2 o gerenciamento do trabalho é mais fácil, tornando mais aplicável a ideia de que cada operário realize sempre as mesmas tarefas. A divisão do espaço em zonas menores também facilitará o controle da produção. Os tempos de ciclos ficaram menores, e a partir disso foi possível que se fizesse o planejamento por dia e não mais por semana. Essa mudança permitiu que *buffers* fossem colocados de forma mais precisa, diminuindo a chance de que se tornassem folgas demasiadamente longas. Foi possível, também, que atividades suprimidas na linha de balanço 1 (marcação de laje, concretagem, desforma) se tornassem visíveis.

Porém, o planejamento por dia, visto o grande número de informações, implicou dificuldades técnicas de edição e de visualização do arquivo que foi desenvolvido no software Microsoft Excel. Assim, tornou-se necessário que uma linha de balanço resumo (Figura 17) fosse feita com a unidade de tempo em semanas e a unidade de espaço em pavimentos, diferente da ideia inicial de colocar as zonas de trabalho como unidade de espaço. Isso permitiu que os planejamentos das quatro torres pudessem ser vistos numa mesma imagem (Figura 17).

Dois recortes das linhas de balanço detalhadas das torres C e D encontram-se nas Figuras 18 e 19.

Junto a linha de balanço resumo (Figura 17) foi feito o histograma do número de funcionários na obra. Para que um gráfico pudesse ser feito, primeiro criou-se um quadro com os serviços listados no eixo vertical e as semanas no eixo horizontal. As linhas coloridas indicam as semanas que determinada equipe estará presente na obra e o número dentro de cada célula indica o número de funcionários daquela equipe, naquela semana. O somatório do número de funcionários por semana está representado no gráfico e apresentado na Figura 21, embaixo da

linha de balanço. À esquerda da Figura 17, uma tabela auxiliar com o número de operários por serviço e por local de trabalho. Para as atividades de marcação de laje, concretagem e desforma não foram definidas equipes. Isso porque essas atividades acontecem com periodicidade, então, não seria necessário montar equipes exclusivamente para realizá-las, assim, definiu-se que serão executadas por equipes montadas a partir das outras equipes que estarão na obra. Nesses casos, os membros dessas equipes não serão contabilizados no histograma, pois estariam aparecendo duas vezes.

Visto o prazo apertado do empreendimento, buscou-se, primeiramente, dimensionar as equipes para um cenário em que todas as atividades tivessem o mesmo ritmo da execução da alvenaria estrutural, atividade predecessora de todas as outras. Para isso, atividades diferentes foram designadas para que acontecessem ao mesmo tempo, na mesma zona de trabalho (aparecendo na linha de balanço como uma única atividade) e, posteriormente, simulou-se variações no número de operários nas equipes. Acabou se formando dois grupos de atividades diferenciados pelos seus respectivos ritmos, um seguiu o ritmo imposto pela execução da alvenaria e outro com um ritmo mais acelerado. Este segundo grupo, composto por apenas uma equipe de cada serviço, trabalhará nas 4 torres. Esta estratégia se fez interessante por não aumentar, desnecessariamente, o número de funcionários no período de pico no histograma, já bastante grande. Entretanto, essas atividades passam a estar no caminho crítico da obra. Feita essa observação, teve-se o entendimento que possíveis atrasos desses serviços no prazo final poderão ser previstos durante a primeira metade do período de obra, e caso seja identificada essa possibilidade, não haverá dificuldade em mobilizar equipes adicionais.

Uma vez que ainda não se tem definidas as empresas que realizarão esses serviços e, conseqüentemente, não exista a possibilidade de debater com seus respectivos responsáveis a viabilidade de tais ritmos de produção, acredita-se que, provavelmente, essas definições sofrerão alterações futuramente. Para absorver tais mudanças, foram colocados buffers próximos às atividades que, segundo o engenheiro da empresa Y, tem maior chance de ter variações em seu ritmo, como por exemplo, a execução de reboco e das instalações elétricas e hidráulicas. Para mitigar esses possíveis erros de previsão de ritmos, também foi analisado o tempo restante além do previsto nesse planejamento. Sendo o prazo da obra de 24 meses, 104 semanas, e o período de obra previsto na linha de balanço é de 92 semanas, sobram 16 semanas para atividades que, necessariamente, vem antes das previstos neste planejamento, como por exemplo: limpeza e instalação de canteiro, marcação de gabaritos, execução de instalações

enterradas, execução de fundações e execução das lajes de piso das torres D e C. Junto ao engenheiro da empresa Y, estimou-se que esses serviços não devem passar ultrapassar 10 semanas, ficando, ainda, uma reserva de 6 semanas. As demais edificações do empreendimento (prédio garagem, salão de festas, piscina) podem ser executadas durante o período de 92 semanas previsto para construção das torres.

Figura 17: Linha de balanço resumo

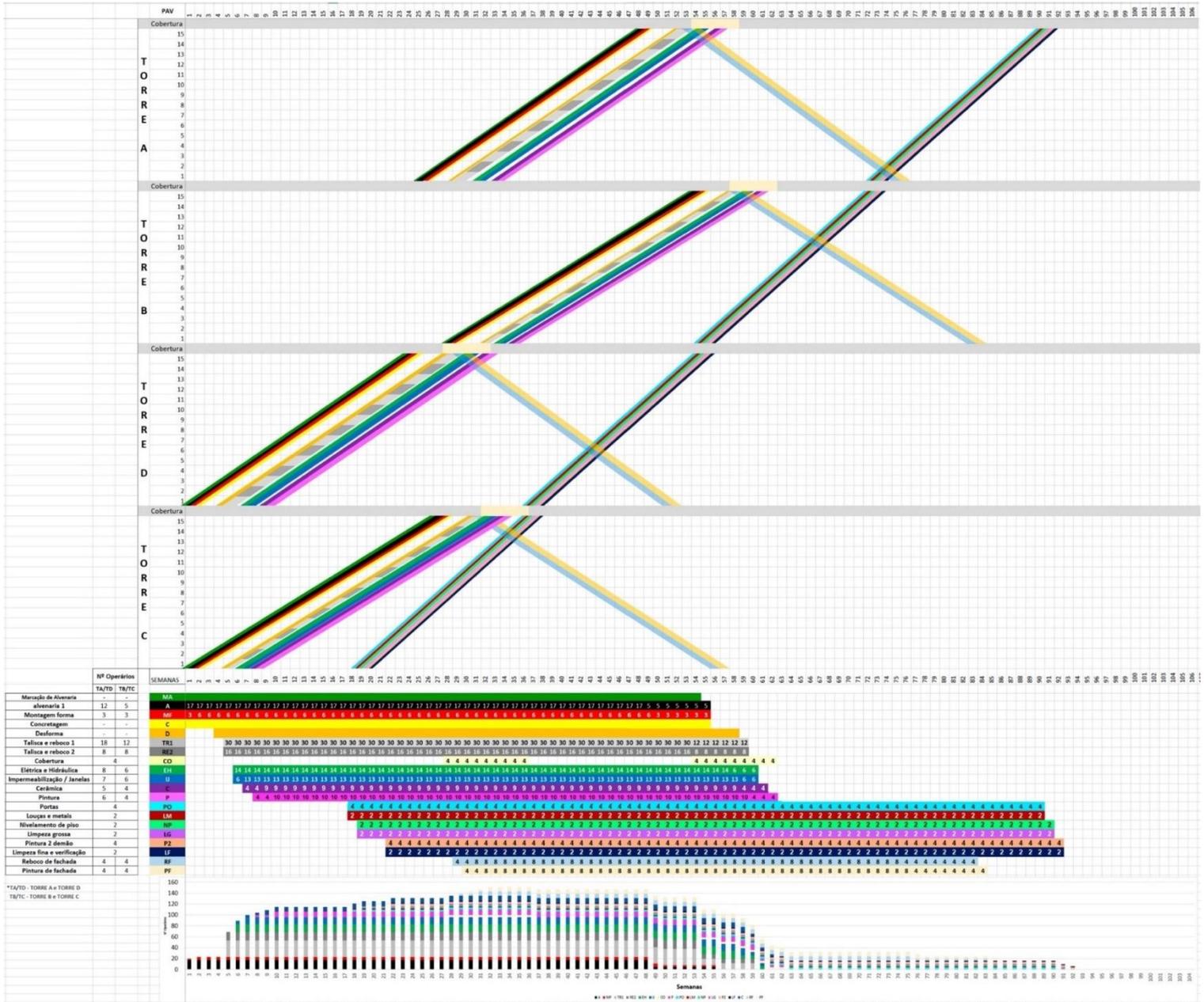


Figura 18: Recorte da linha de balanço detalhada da torre C

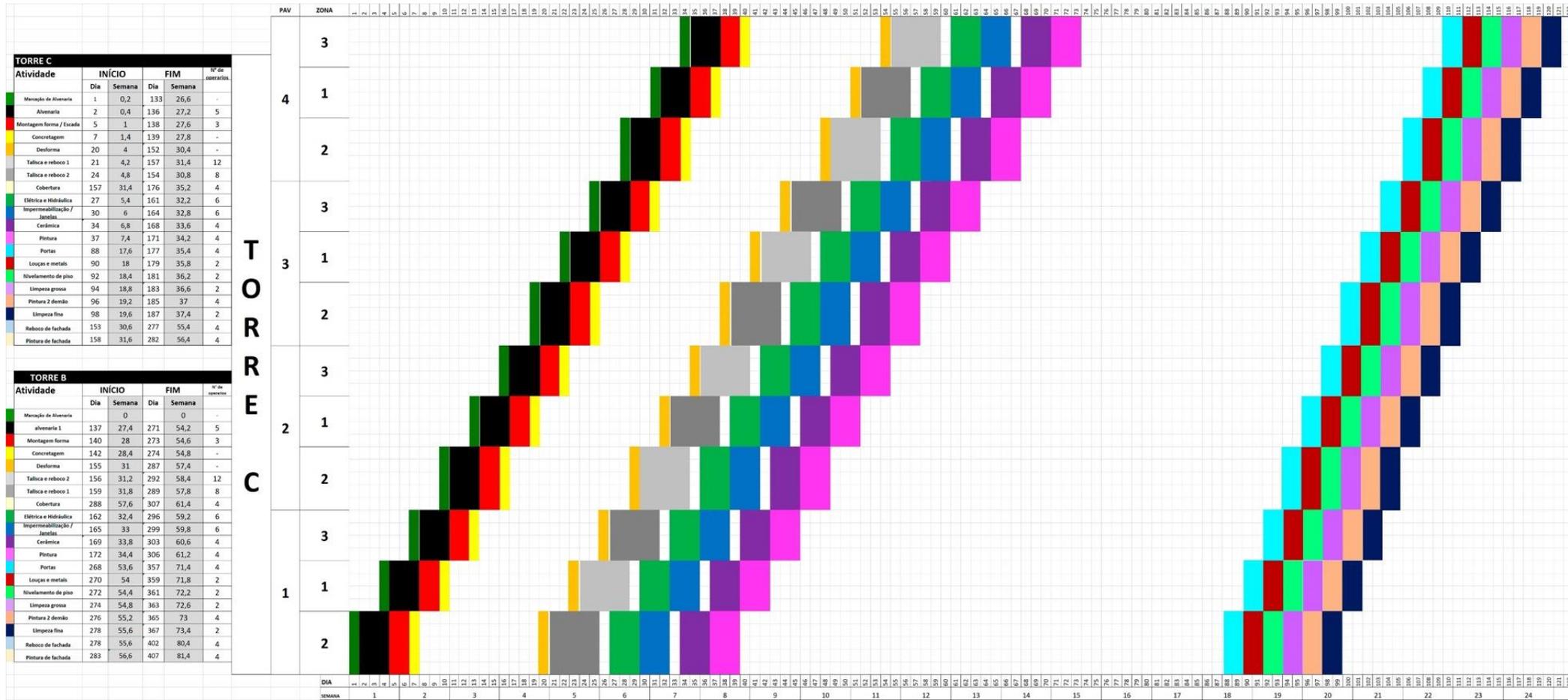
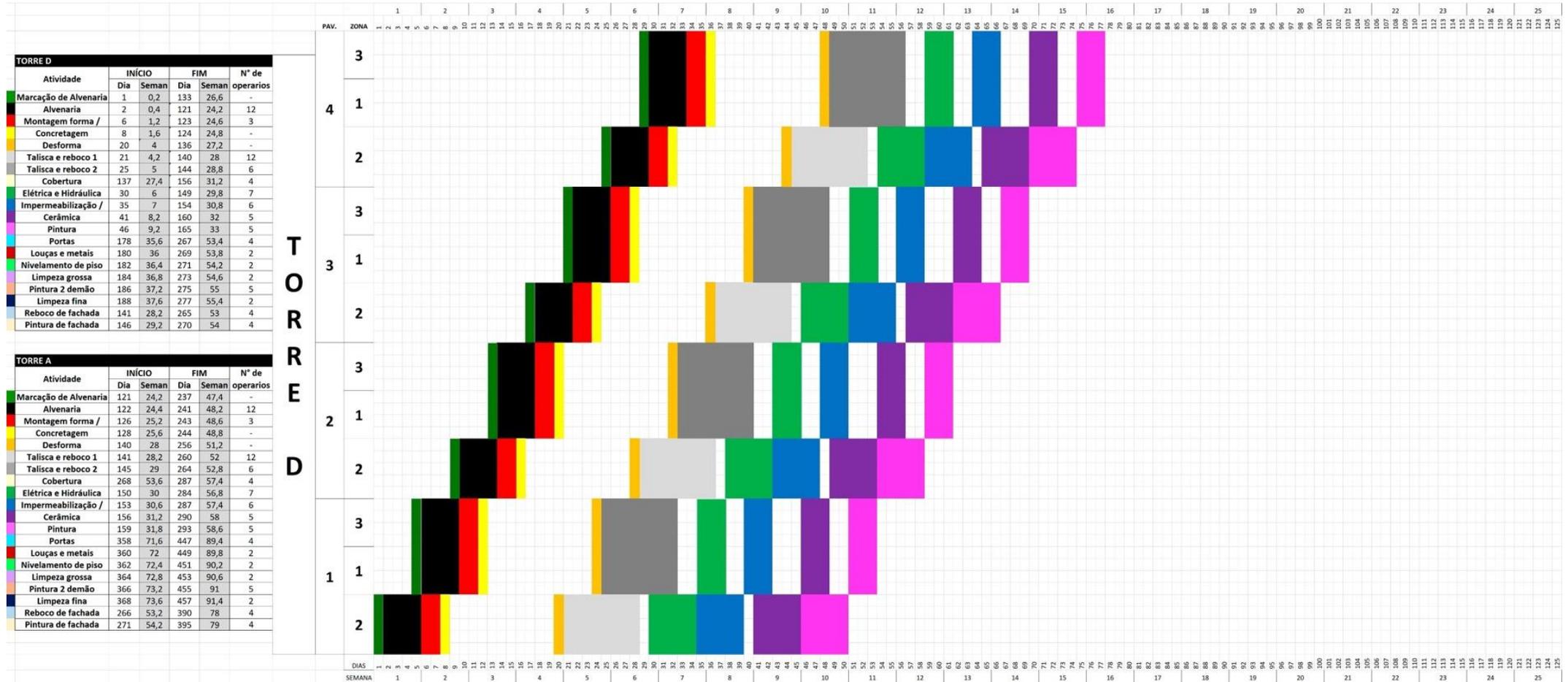


Figura 19: Recorte da linha de balanço detalhada da torre D



5.8 IDENTIFICAÇÃO E PROJETO DOS PROCESSOS CRÍTICOS

Processos críticos são aqueles que tem grande influência sobre os demais, sendo processos cruciais para o sucesso da obra. Para este trabalho definiu-se que a execução da alvenaria estrutural é um processo crítico. Isso não quer dizer que outros processos não pudessem ser considerados ou que não possam ser considerados no futuro.

O intuito desta etapa é estudar e analisar com mais detalhes os processos críticos a fim de se obter maior eficiência em sua execução.

5.8.1 Marcação de laje

O sistema construtivo em alvenaria estrutural tem por premissa básica o descarregamento das cargas da edificação sobre as paredes. Assim, torna-se de suma importância que estas estejam exatamente umas sobre as outras. E, uma vez que, as paredes de determinado pavimento suportam tudo que está acima delas, pode-se inferir que as paredes dos pavimentos mais baixos são mais solicitadas e merecem atenção redobrada na hora de sua marcação.

Para a realização deste serviço deverá ser formada uma equipe e esta será responsável por todas as marcações da obra. Deve-se nomear um líder da equipe, profissional de confiança do empreiteiro que tenha a capacidade técnica para gerenciar uma pequena equipe e realizar o serviço com destreza. As primeiras marcações serão acompanhadas pelo engenheiro e/ou pelo mestre de obras assim como pelos técnicos e estagiários que venham a trabalhar na obra. Assim, poderão ser esclarecidas quaisquer dúvidas para a equipe que ficará responsável e se estabelecerá um protocolo de execução. O acompanhamento deste primeiro momento por técnicos e estagiários se faz bastante importante por ser provável que estes venham a fiscalizar o desenvolvimento no futuro.

5.8.2 Definição da equipe de trabalho e do Ciclo de Trabalho

Ao se aproximar da data de início das atividades e estando a empreiteira contratada, será elaborado, em conjunto com o empreiteiro, cronogramas de atividades da equipe atreladas a horários (Figura 20), baseados no planejamento da obra e na produtividade da empresa terceirizada.

Figura 20: Tabelas criadas baseadas no Manual de Boas Práticas da Associação Bloco Brasil

Dia 1		Dia 2		Dia 3	
Hora	Atividade	Hora	Atividade	Hora	Atividade
08:00	Marcação da Laje	08:00	Elevação 8ª fiada / Zona 2 Pav 3	08:00	Elevação até Respaldo / Zona 2 Pav 3
09:00		09:00		09:00	
10:00	10:00	10:00			
11:00	11:00	11:00			
12:00	Almoço	12:00	Almoço	12:00	Almoço
13:00	Elevação 8ª fiada / Zona 2 Pav 3	13:00	Limpeza e montagem de andaime	13:00	Elevação até Respaldo / Zona 2 Pav 3
14:00		14:00	Elevação até		
15:00		15:00	Respaldo / Zona 2		
16:00		16:00	Pav 3		

Fonte: Elaborado pelo autor

No mesmo sentido, serão discriminadas as atividades de cada um dos bloqueiros para que saibam, com prontidão, o que deve executar. Tal medida também visa evitar o problema da divisão das áreas executadas entre os operários, descrito anteriormente. Tal material pode ser materializado em cartões e ficar à disposição dos bloqueiros para que o peguem ao chegar na obra. Na Figura 21 está apresentado um exemplo deste material.

Figura 21: Quadro criado baseado no Manual de Boas Práticas da Associação Bloco Brasil

Nome Funcionário			
Dia 1	Turno	Parede	Etapa
		1	A
		2	A
		3	A
		4	A
Dia 1	Turno	Parede	Etapa
		1	B
		2	B
		3	B
		4	B

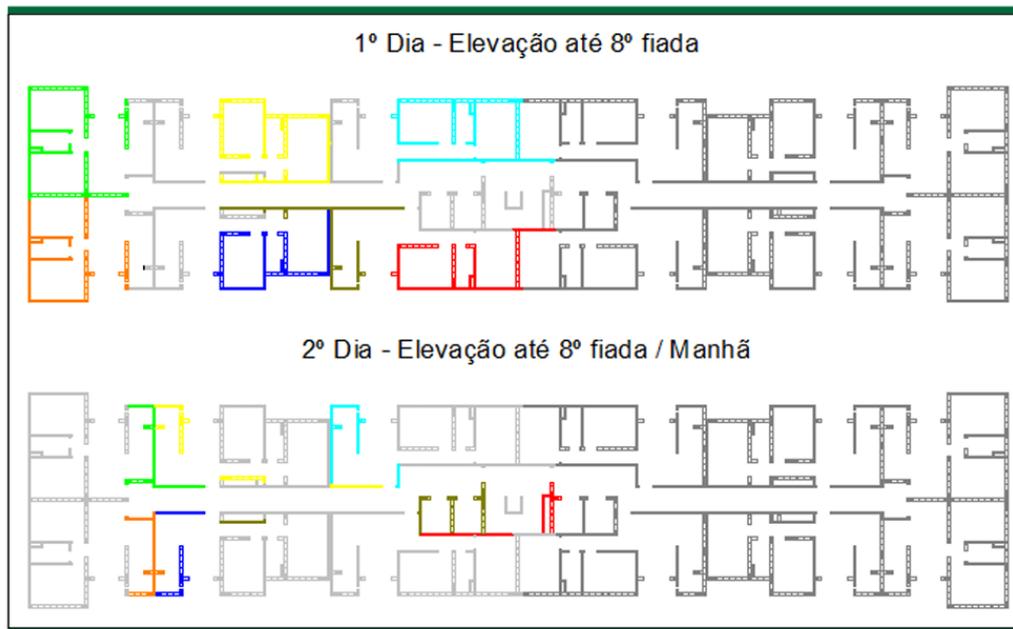
Fonte: Elaborado pelo autor

As figuras 20 e 21 são quadros criados pelo autor e que virão a ser preenchidos junto a empresa terceirizada que realizará o serviço de execução da alvenaria estrutural.

Deve-se definir uma sequência de execução das paredes de cada zona. Este roteiro não serve

apenas para os bloqueiros saberem a ordem de execução, mas para que a logística de abastecimento funcione. Tal representação, exemplificada na figura x, deverá estar fixada nos pavimentos em execução em tamanho e local de fácil visualização, permitindo ao encarregado acompanhar o desenvolvimento de sua equipe. A separação por cores indica as paredes que cada bloqueiro deve executar.

Figura 22: Exemplo de indicação visual do plano de execução das paredes



Fonte: Associação Bloco Brasil

5.9 Plano logístico

Um plano logístico de abastecimento de insumos deve ser feito para que a produção não seja interrompida.

5.9.1 Blocos

Quando forem definidos os blocos que serão usados na obra, deverá se fazer o levantamento da quantidade que será usada em cada zona. Com essa informação e com as dimensões dos pallets de entrega, deve-se elaborar uma planta dos pavimentos com os locais de estoques de blocos.

5.9.2 Argamassa de Assentamento

De forma similar aos blocos, também deve-se fazer o levantamento da quantidade necessária de argamassa por etapa e fazer a avaliação do tempo em que será usada, uma vez que é um material com prazo de utilização relativamente curto. Junto à empresa terceirizada que irá executar essa atividade, também será definido a maneira do deslocamento horizontal deste material no pavimento.

5.9.3 Barras de Aço

As barras de aço usadas nas vergas, contravergas, quinas de paredes e demais locais serão cortadas e dobradas em uma central localizada entre as torres no nível térreo. Este material também será levado até as zonas de trabalho nas quantidades e com as especificidades necessárias, separadas por kits devidamente identificados.

5.9.4 Graute

O mesmo processo dos itens anteriores se faz com o graute. Faz-se o levantamento das quantidades necessárias relacionando-as aos locais que serão utilizadas.

Com todas essas informações levantadas a respeito de cada material, deve-se elaborar uma planta (Figura 23) com os locais de estocagem de cada material.

para que as inferências feitas, com base na literatura, nos dados históricos da empresa e na experiência do engenheiro da empresa, fossem o mais adequadas possível. Ademais, geralmente, não havia nenhum impeditivo ao aumento do nível de detalhamento dos processos, este limite se fazia pelo senso crítico do autor ao avaliar o grau de incerteza dos resultados que o determinado processo estava produzindo. Outra grande dificuldade se apresentou durante o desenvolvimento das linhas de balanço no software Microsoft Excel. Ao passo que o arquivo foi ganhando informações, o software começou a apresentar lentidão não esperada e não condizente com a máquina que o rodava. Acredita-se que tal problema esteja ligado ao uso de formas geométricas em vez de células coloridas para a composição da linha de balanço.

Assim como diz Schramm (2004), o processo de produção do PSP se caracterizou por acontecer de forma iterativa. Diversas ideias de arranjo da produção começaram a ser estudadas, mas encontraram algum impeditivo e foram abandonadas. Uma das ideias centrais do projeto desenvolvido foi a divisão dos pavimentos em zonas de trabalho separadas pelas juntas de dilatação. Tal definição se mostrou muito adequada para os serviços de execução de alvenaria, de execução de laje e de execução de reboco: primeiro e o último são serviços mais lentos e requerem uma grande equipe para gerar um ritmo adequado, o segundo, apesar de ser mais rápido, ocupa grande parte da área onde está sendo desenvolvido, assim como os outros dois. Entretanto, a divisão dos pavimentos em 3 zonas não é a mais adequadas para os serviços que vieram posteriormente. Nesses casos em que há serviços execução mais rápida, diminuir o lote de produção seria a melhor opção, pois, também, diminuiria o lote de transferência (liberando a zona em menor tempo para o próximo serviço) e o tempo de ciclo. Ademais, tal mudança estaria aumentando o ritmo da atividade e diminuindo o trabalho em progresso. A mudança do tamanho do lote para os serviços pós reboco poderia (e pode, futuramente) ter sido feita, mas, apesar dos diversos pontos positivos, não foi realizada, pois houve o entendimento que o planejamento estaria ficando detalhado demais visto as poucas informações que se tinha como base.

As definições de layout e de estratégia de execução foram observadas pelo engenheiro da empresa e foram consideradas apropriadas. O histograma de mão-de-obra ficou bastante coerente com o que se esperava e a previsão do término das torres em 92 semanas se mostrou adequada perante o prazo total de obra.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo inicial desenvolver o PSP de um empreendimento residencial em alvenaria estrutural. Uma das motivações do trabalho foi aplicar os métodos de desenvolvimento do PSP em uma obra repetitiva, onde se aplicam bem os conceitos de racionalização de obra. Porém, a falta de todos os projetos dificultou o processo e tornou inviável o desenvolvimento de alguns pontos. Assim, decidiu-se aplicar o método somente à construção das torres e não mais ao empreendimento todo, por se acreditar que desse modo os resultados do trabalho seriam mais interessantes.

Durante o desenvolvimento do trabalho, e na sua finalização, aconteceram reuniões com o diretor de engenharia da empresa Y. Este relatou que a empresa Y não contava com um setor voltado para o planejamento de obras e que estes serviços vinham sendo terceirizados.

O desenvolvimento deste trabalho de mostrou como o PSP possibilita e induz a visão sistêmica do empreendimento. Embora alguns resultados mais específicos, como o número de operários de uma certa equipe, tenham grande chance de serem modificados a partir de novas situações, os resultados de longo prazo, como ritmo da obra, histograma de mão-de-obra, layout do canteiro, zoneamento e estratégia de execução, apresentaram resultados que devem ser mantidos ou que venham a sofrer pequenas mudanças.

Faz-se a sugestão que trabalhos futuros de desenvolvimento de PSP aplicados a obras verticais residenciais proponham zonas de trabalhos de tamanhos diferentes pra uma mesma estratégia de execução. Essas zonas de tamanhos diferentes devem ser pensadas ao analisar os serviços que ali serão executados. Ou seja, uma zona de trabalho pode ter um determinado tamanho nos primeiros serviços e diminuir a partir de alguma atividade. Assim, se fará uma redução do tamanho do lote de produção e de transferência, diminuindo o trabalho em progresso.

7 REFERÊNCIAS

Aço representa maior peso entre aumento de custos da construção, diz estudo. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**, 10 de maio de 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/aco-representa-maior-peso-entre-aumento-de-custos-da-construcao-diz-estudo/#:~:text=J%C3%A1%20entre%20julho%20de%202020,do%20aumento%20total%20deste%20projeto>. Acesso em: 29 de nov. de 2022

Aumento no preço dos insumos é o maior problema da Construção há 24 meses. **Câmara Brasileira da Indústria da Construção**, 25 de jul. de 2022. Disponível em: <https://cbic.org.br/aumento-no-preco-dos-insumos-e-o-maior-problema-da-construcao-ha-24-meses/>. Acesso em: 29 de nov. de 2022

ASKIN, R. G.; GOLDBERG, J. B. **Design and Analysis of Lean Production Systems**. New York: John Wiley & Sons, 2002

BAIXA PRODUTIVIDADE E FALHAS TECNOLÓGICAS SÃO OS PRINCIPAIS GARGALOS DO SETOR DE CONSTRUÇÃO. **Associação Brasileira de Cimento Portland**, 02 de ago. de 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/baixa-productividade-e-falhas-tecnologicas-sao-os-principais-gargalos-do-setor-de-construcao/>. Acesso em: 29 de nov. de 2022

BULHÕES, Iamara Rossi; PICCHI, Flávio Augusto. **Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações**. Porto Alegre, 2011.

BULHÕES, Iamara Rossi; PICCHI, Flávio Augusto. **Redução do tamanho do lote em projetos como estratégia de implementação do fluxo contínuo em sistemas pré-fabricados**. Porto Alegre, 2013.

FORMOSO, Carlos Torres; INO, Akemi. Inovação, Gestão da Qualidade & Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Volume 2. Porto Alegre: Coletânea HABITARE, 2003.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

LAUFER, A. Essentials of project planning: owner's perspective. **Journal of Management in Engineering**, New York, ASCE, v. 6, n. 2, p. 162-176, 1990.

LIKER, J. K; MEIER, D. **O Modelo Toyota: manual de aplicação** / tradução: Lene Belon Ribeiro. - Porto Alegre: Bookman, 2007.

MATTOS, A.D. **Planejamento e Controle de Obras**. São Paulo, 2019.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2ed. São Paulo: Pioneira, 1996.

RODRIGUES, A. A. O Projeto do Sistema de Produção no Contexto de Obras Complexas. Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2006.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a Enxergar**: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999.

SANTOS et al. **Método de intervenção para a redução de perdas na construção civil**. Porto Alegre: SEBRAE-RS, 1996.

SAUER, n. Integração da Gestão de Custos ao Planejamento e Controle da Produção Baseado em localização na Construção com Apoio de Bim. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAURIN, Tarcísio Abreu; FORMOSO, Carlos Torres. **Planejamento de Canteiros de Obra e Gestão de Processos**. Volume 3. Porto Alegre: Recomendações Técnicas HABITARE, 2006.

SCHRAMM, F. K. Projeto de Sistemas de Produção na Construção Civil Utilizando Simulação Computacional como Ferramenta de Apoio à Tomada de Decisão. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

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

SCHRAMM, F. K.; COSTA, D. B.; FORMOSO, C. T. O Projeto do Sistema de Produção na Gestão de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2006.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção** São Paulo: Atlas, 1997.

TRESCASTRO, M. G. Diretrizes Para a Segmentação e Sequenciamento das Atividades no Processo de Projeto em Ambientes Simultâneos na Construção Civil. Porto Alegre, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre, 2001.