

LUCAS FILETTO BASTOS

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE TRANSPORTES EM OBRA DE
EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES**

Trabalho de Formatura do Curso
de Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio
Franco

São Paulo
2019

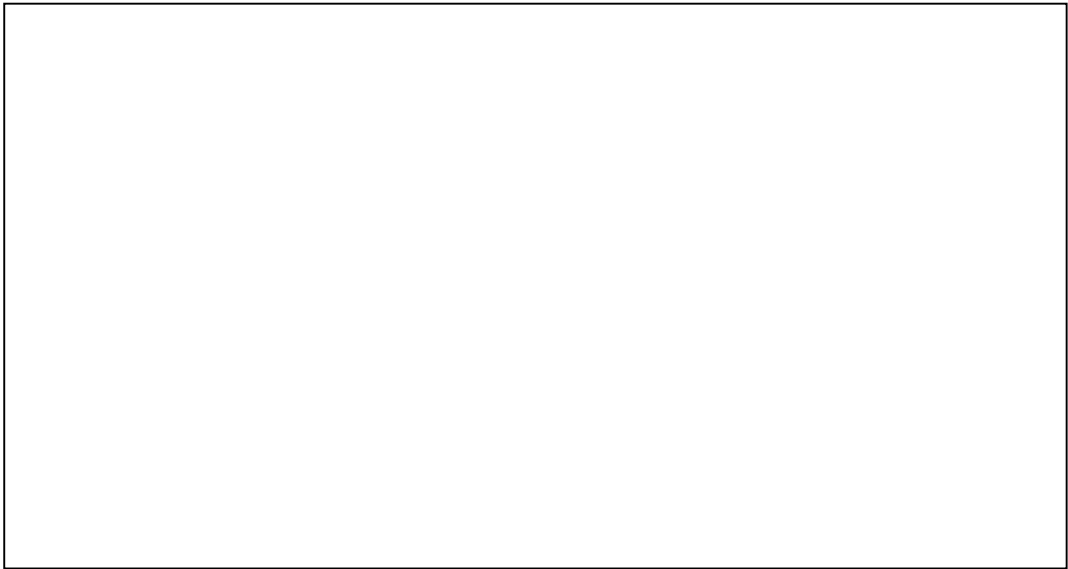
LUCAS FILETTO BASTOS

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE TRANSPORTES EM OBRA DE
EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS ANDARES**

Trabalho de Formatura do Curso
de Engenharia Civil apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio
Franco

São Paulo
2019



Sumário

1	Introdução	3
1.1	O Planejamento e a Construção Civil.....	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Justificativa.....	3
1.4	Materiais e métodos	3
1.5	Resultado esperado	3
2	Revisão Bibliográfica	4
2.1	Introdução	4
2.2	Lean Construction	4
2.2.1	Lean Thinking.....	4
2.2.1.1	Princípios.....	5
2.2.2	Desperdícios	9
2.2.3	Características da Construção Civil	12
2.2.4	Ferramentas e Métodos	14
2.2.4.1	Location Based Management System (LBMS).....	14
2.2.4.2	Last Planner® System (LPS).....	18
2.3	Planejamento de Canteiro	20
2.3.1	Canteiro de Obras.....	20
2.3.2	Projeto de Canteiro	21
2.3.2.1	Planejamento de Obra.....	22
2.3.2.2	Elementos de Canteiro	22
2.3.2.3	Equipamentos de Transporte	27
i.	Grua	27
ii.	Minigrua.....	35
iii.	Elevador de Obra	36
3	Estudo de Caso	38
3.1	Definições Preliminares (Coleta de Dados).....	38
3.2	Detalhamento de Serviços	41
3.3	Demanda por Materiais	45
3.4	Demanda por mão-de-obra	47
3.5	Ferramenta de modelagem dos movimentos	49
3.6	Sistemas de Transporte	49

3.6.1	Opção 1 – Mini gruas	50
3.6.2	Opção 2 – Grua de Torre Fixa	54
3.6.3	Opção 3 – Gruas Ascensionais.....	57
3.6.4	Comparativo das Alternativas	60
4	Conclusão.....	62
5	Bibliografia	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema Toyota de Produção (Fonte: lean.org).....	5
Figura 2: Comparativo de desempenho entre a filosofia convencional de produção, a visão da qualidade e a Nova Filosofia de Produção (Fonte: Koskela, 1992)	6
Figura 3: O tempo de ciclo pode ser diminuído através da eliminação de atividades que não adicionam valor, e também da redução de variabilidade. (Fonte: Berliner & Brimson, 1988).....	7
Figura 4: Comparativo entre melhoria contínua e inovação (Fonte: Koskela, 1992)	8
Figura 5: Os Oito Desperdícios do Lean Thinking (Fonte: http://www.ecoprodconsultoria.com.br/blog/reducao-de-perdas , acesso em 14/11/2019)	11
Figura 6: O projeto da fábrica como uma atividade da concepção do produto (Fonte: SOUZA, 2000)	13
Figura 7: Esquema de projeto residencial setorizado (Fonte: KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).....	15
Figura 8: Possível Estrutura Analítica de Locais para o projeto da Figura 7 (Fonte: KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)	15
Figura 9: Exemplo de linhas de fluxo desbalanceadas. Duração total: 45 dias (Fonte: SEPPÄNEN, 2016)	16
Figura 10: Linhas de fluxo após balanceamento. Duração total: 35 dias (Fonte: SEPPÄNEN, 2016).....	17
Figura 11: Controle no LBMS (Fonte: SEPPÄNEN, 2016)	18
Figura 12: Fluxo LPS: Should - Can - Will - Did (Fonte: BALLARD, 2000).....	19
Figura 13: Estágios do planejamento no Last Planner® System (Fonte: Ballard, 2000)	20
Figura 14: Fluxograma de atividades (SOUZA, 2000).....	21
Figura 15: Fluxograma para elaboração do anteprojeto das fases do canteiro (Fonte: FERREIRA; FRANCO, 1998).....	25
Figura 16: Carta de interligações preferenciais (Fonte: Elias et al., 1998)	26
Figura 17: Grua de lança horizontal	28
Figura 18: Grua de Lança Móvel	28
Figura 19: Detalhe de grua com lança horizontal e base fixa (Fonte: LICHTENSTEIN, 1987)	29
Figura 20: Grua com base do tipo ascensional (Fonte: SANTANA, 2018).....	29
Figura 21: Considerações geométricas quanto ao posicionamento da grua (Fonte: Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP – BT1777, p.6)	33
Figura 22: Garfo Paleteiro (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br)	34
Figura 23: Balde para concreto ou argamassa (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br)	34
Figura 24: Caçamba para entulho (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br).....	34
Figura 25: Plataforma de descarga (Fonte: construmaq.ind.br)	35
Figura 26: Detalhe de minigrua (Fonte: Metax)	36
Figura 27: Empreendimento estudado (Fonte: TARJAB)	38

Figura 28: Implantação do empreendimento (Fonte: TARJAB).....	39
Figura 29: Corte esquemático do empreendimento (Fonte: TARJAB)	39
Figura 30: Cronograma em Linhas de Balanço. (Fonte: TARJAB)	40
Figura 31: Projeto de Canteiro Preliminar (Fonte: TARJAB)	41
Figura 32: Levantamento Quantitativo da Estrutura (Fonte: TARJAB).....	41
Figura 33: Tipos de processos (Fonte: Ubiraci; Franco, 1997).....	42
Figura 34: Fluxograma de processos da estrutura (Fonte: Autor)	42
Figura 35: Estudo de escoras (Fonte: SVS Engenharia).....	43
Figura 36: Fluxograma de execução de alvenaria (Fonte: Autor).....	44
Figura 37: Fluxograma da execução de revestimentos argamassados (Fonte: Autor)	44
Figura 38: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 1(Fonte: Autor)	52
Figura 39: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 3 (Fonte: Autor)	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1:Indicadores para avaliar a capacidade de um sistema de transportes (Fonte: BT177 PCC-USP)	27
Tabela 2: Comparativo entre as gruas estacionária e ascensional (LICHTENSTEIN, 1987b).....	30
Tabela 3: Quantitativo Estimado por serviço por torre (Fonte: Autor).....	46
Tabela 4: Detalhe do Cronograma de Materiais	47
Tabela 5: Estimativa da mão de obra por serviço (Fonte: Autor).....	47
Tabela 6: Velocidades consideradas na modelagem da grua (Fonte: Autor)	49
Tabela 7: Velocidades consideradas na modelagem do elevador cremalheira (Fonte: Autor)	50
Tabela 8: Opções de sistemas de transporte a serem analisadas (Fonte: Autor)	50
Tabela 9: Síntese dos movimentos analisados na Opção 1 (Fonte: Autor).....	52
Tabela 10: Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro.....	53
Tabela 11: Agenda de Movimentações da semana crítica (Fonte: Autor).....	53
Tabela 12: Custo direto da implantação da opção 1 (Fonte: Autor)	54
Tabela 13: Síntese dos movimentos analisados na Opção 2 (Fonte: Autor).....	55
Tabela 14: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 2 (Fonte: Autor)	55
Tabela 15:Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro (Fonte: Autor) ..	56
Tabela 16: Agenda de Movimentações da semana crítica na opção 2 (Fonte: Autor)	56
Tabela 17: Custo direto da implantação da opção 2 (Fonte: Autor)	57
Tabela 18: Síntese dos movimentos analisados na Opção 3 (Fonte: Autor).....	58
Tabela 19: Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro (Fonte: Autor) .	59
Tabela 20: Agenda de Movimentações da semana crítica na opção 2 (Fonte: Autor)	59
Tabela 21: Custo direto da implantação da opção 2 (Fonte: Autor)	60

Tabela 22: Comparativo da capacidade utilizada dos equipamentos pelos serviços considerados acrescida 30% de ineficiência (Fonte: Autor).....	60
Tabela 23: Comparativo do custo direto das opções (Fonte: Autor).....	61
Tabela 24: Matriz de decisão das opções de sistema (Fonte: Autor).....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histograma de mão de obra por torre (Fonte: Autor)	48
Gráfico 2: Histograma de mão de obra do empreendimento (Fonte: Autor).....	48

RESUMO

A busca por melhoria na produtividade e racionalização de atividades se tornou regra na indústria da construção civil. A escolha dos equipamentos que formam o sistema de transportes tem grande impacto nessas questões devido às diversas possibilidades de mudanças nos processos e operações do canteiro, principalmente considerando a utilização da grua, que possui grande capacidade e versatilidade no transporte de diversos tipos de materiais. Este trabalho avalia possibilidades de sistemas de transporte em uma obra de empreendimento real a ser construído na cidade de São Paulo a partir de 2020. Para alcançar este objetivo é feita uma revisão bibliográfica em duas partes. Na primeira são discutidas as ideias da filosofia “*lean*” e como ela se aplica à indústria da construção e seus processos. Na segunda parte, são estudados aspectos do planejamento do canteiro e discutidos os equipamentos a serem analisados. No terceiro capítulo, o estudo de caso propriamente dito, o objeto a ser construído é apresentado, assim como as três opções de sistemas de transporte propostas pela construtora. São então levantados dados relevantes ao problema e é elaborada uma ferramenta capaz de analisar a utilização dos equipamentos de transporte baseado nos quantitativos reais do empreendimento. Por fim, os sistemas são comparados e as opções que contam com a utilização da grua se mostram mais adequadas para implantação no empreendimento, após a construção de uma matriz de decisão.

Palavras-Chave: canteiro de obra; sistema de transporte; modelagem de movimentações

1 Introdução

1.1 O Planejamento e a Construção Civil

Quando se fala em inovação ou racionalização na indústria da construção, vários textos acadêmicos introduzem o tema comentando sobre a necessidade da melhoria na produtividade devido ao aumento da competitividade no mercado. A realidade da indústria é que mudanças radicais no processo construtivo, principalmente em empresas que não são de grande porte, são, na maioria das vezes, um risco alto demais para lidar, podendo colocar em xeque o futuro das próprias empresas. Dessa forma, é possível observar que, ainda em 2019, o Sistema de Construção Tradicional, como chamado por Lichtenstein (1987), onde a estrutura é constituída por um pórtico tridimensional de concreto armado e a vedação é realizada em paredes de alvenaria, ainda é amplamente utilizado em obras de edifícios residenciais de múltiplos andares. Dentre as possibilidades, podemos observar que a racionalização da construção implementando medidas de aperfeiçoamento no âmbito do processo existente se torna mais atraente que a implementação de processos construtivos inovadores em relação ao processo tradicional. Este trabalho tem a intenção de encontrar possibilidades de aperfeiçoamento no Sistema de Construção Tradicional.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho é, a partir da elaboração de uma ferramenta que modele transportes de materiais no canteiro, comparar o impacto da implantação de diferentes sistemas de transporte em uma obra de edifícios de múltiplos andares.

1.3 Justificativa

A escolha dos equipamentos que vão compor o sistema de transportes da obra tem relação direta com os processos construtivos e deve ser estudada a fim de obter possíveis melhorias na logística do canteiro como um todo. Além disso, a empresa construtora em questão no estudo de caso tem o desejo de conhecer as possibilidades e reais benefícios possíveis com a utilização da grua no canteiro de obras.

1.4 Materiais e métodos

O trabalho será desenvolvido a partir de revisão bibliográfica da literatura disponível e um estudo de caso real de um empreendimento na Zona Sul da cidade de São Paulo.

1.5 Resultado esperado

É esperado que este trabalho evidencie os impactos na utilização de diferentes equipamentos de transporte nos processos construtivos e auxilie na escolha de um sistema de transporte adequado do ponto de vista técnico e econômico.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

Na primeira parte deste texto será abordado o tema da “Mentalidade Enxuta” e formas como essa filosofia é aplicada na indústria da construção. A segunda parte aborda o planejamento do canteiro, tanto do ponto de vista do layout e equipamentos utilizados, quanto dos processos que nele ocorrem.

2.2 Lean Construction

O conceito do Lean Construction (Construção Enxuta) teve origem no trabalho *Application of The New Production Philosophy to Construction (Aplicações da Nova Filosofia de Produção à Construção*, em tradução livre), do finlandês Lauri Koskela, em 1992. Neste trabalho, Koskela avaliou possíveis aplicações da Nova Filosofia de Produção (Lean Thinking) à indústria da construção civil e concluiu que o setor poderia ter melhorias dramáticas utilizando os métodos dessa nova filosofia. Desse momento até os dias de hoje, o Lean Construction vem sendo cada vez mais objeto de discussão no meio da construção. Este capítulo busca apresentar os pilares do Lean Thinking e como ele se aplica na Construção Civil atualmente.

2.2.1 Lean Thinking

Referida por Koskela como a Nova Filosofia de Produção, o Lean Thinking (Mentalidade Enxuta) é uma filosofia de produção com ideias originais do Japão, dos anos 1950, principalmente do Sistema Toyota de Produção (TPS). Desde o início, os conceitos dessa filosofia estão em constante evolução, isso porque as ideias desta nova filosofia foram desenvolvidas de forma prática, através de um longo processo de tentativa e erro, onde uma base teórica não era vista como necessária. No início da década de 90 a abordagem da Nova Filosofia de Produção já era comum na indústria de manufatura e também já influenciava outras indústrias. (KOSKELA, 1992)

Como ilustrado na Figura 1, os dois pilares principais do TPS são: “Just-In-Time” e “Jidoka”. O *just-in-time* é um tipo de processo onde as partes necessárias para montagem do produto alcançam a linha de montagem somente no momento em que ela é necessária. Já o “Jidoka”, que pode ser traduzido para o português como “autonomação” (derivada da palavra “autonomia”), representa os processos automatizados, mas que contam com supervisão de humanos. Neste caso, quando ocorre alguma anormalidade, esses supervisores dos equipamentos são responsáveis por paralisar a produção dela e, uma vez que o problema é compreendido e resolvido pelos envolvidos, a melhoria é possível (OHNO, 1997).

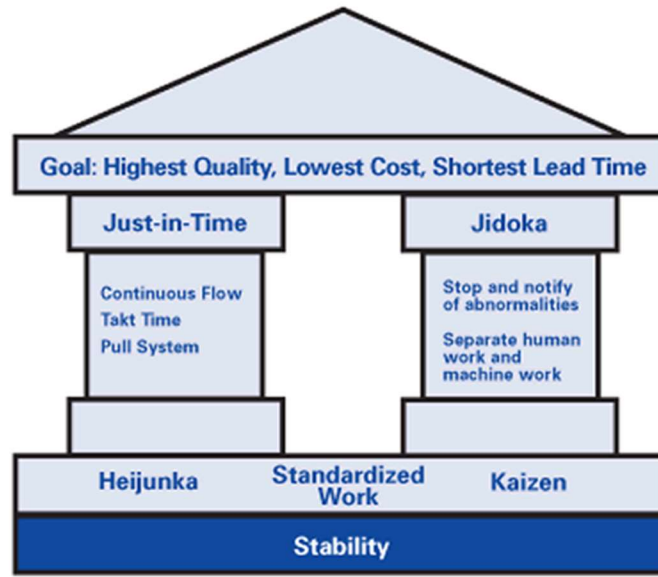


Figura 1: Sistema Toyota de Produção (Fonte: lean.org)

2.2.1.1 Princípios

No seu texto de 1992, Koskela aponta onze princípios que seriam os norteadores da Nova Filosofia de Produção e estão descritos a seguir:

1. Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
Neste item, o autor separa as atividades em dois tipos: as que agregam valor (“*value-adding*”), sendo estas as atividades em que materiais ou informações são transformadas no sentido desejado pelo cliente, e as que não agregam valor (“*non value-adding*”), que são as atividades que consomem tempo, recursos e/ou espaço mas não agregam valor no referencial do cliente. Na Figura 2 temos um comparativo de como os custos são observados em cada visão de processo.

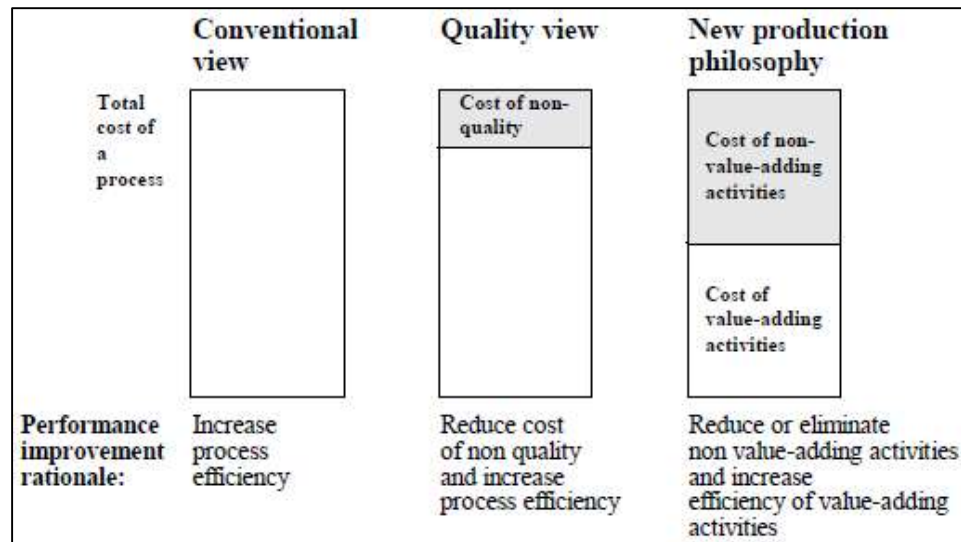


Figura 2: Comparativo de desempenho entre a filosofia convencional de produção, a visão da qualidade e a Nova Filosofia de Produção (Fonte: Koskela, 1992)

2. Aumentar o valor final considerando sistematicamente os requisitos dos clientes;
O produto só possui valor preenchendo os requisitos dos clientes. Neste caso podem ser considerados outros dois tipos de clientes: as próximas atividades e o cliente final.
3. Reduzir variabilidade (ou reduzir incertezas);
Do ponto de vista do cliente, produtos uniformes são melhores. No caso da variabilidade da duração de atividades, o volume de atividades que não agregam valor aumenta.
4. Reduzir o tempo do ciclo de produção;
O tempo do ciclo pode ser equacionado como segue:

$$T(\text{ciclo}) = T(\text{processamento}) + T(\text{inspeção}) + T(\text{espera}) + T(\text{movimentação})$$

A redução do tempo do ciclo força a redução do tempo das atividades que não agregam valor. A Figura 3 mostra a progressão na redução do tempo do ciclo através de sucessivas melhorias no processo:

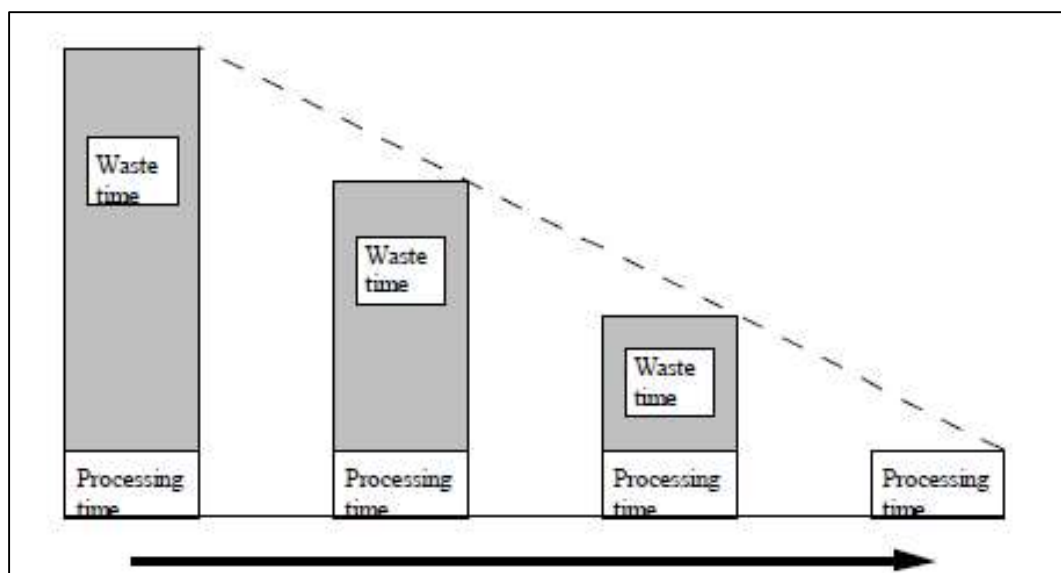


Figura 3: O tempo de ciclo pode ser diminuído através da eliminação de atividades que não adicionam valor, e também da redução de variabilidade. (Fonte: Berliner & Brimson, 1988)

Além da eliminação de perdas, a diminuição do tempo do ciclo também traz benefícios como: entrega mais rápida ao cliente, menor necessidade de prever demanda futura, maior facilidade de gerenciamento do processo. Algumas abordagens práticas para alcançar esse objetivo também podem ser citadas, como: diminuição de lotes, eliminação de trabalhos não finalizados, mudança de layout para diminuição das distâncias de movimentação, suavização e sincronização de fluxos, mudar atividades sequenciais para que ocorram de forma paralela, isolar o fluxo principal onde se agrega valor dos processos de apoio.

5. Simplificar minimizando o número de passos e partes;

Sistemas complexos são menos confiáveis que sistemas simples (com menos etapas). Além disso, a capacidade do ser humano de lidar com sistemas complexos é limitada. Essa simplificação pode ser realizada tanto eliminando atividades que não agregam valor quanto rearranjando etapas que agregam valor. Algumas abordagens práticas para alcançar este objetivo são: diminuição de fluxos através da consolidação de atividades; redução do número de partes envolvidas no produto através de mudança de projeto; padronização de partes, materiais e ferramentas; diminuição da quantidade de informação necessária a ser controlada.

6. Aumentar a flexibilidade de saída ao produto;

Apesar de parecer contradizer o princípio de simplificação, muitas empresas obtiveram sucesso em realizar ambos. Algumas abordagens práticas podem ser citadas, como: diminuição dos lotes para ficarem próximos à demanda; redução da dificuldade de montagens e trocas; customização mais próxima do final do processo quanto possível; treinamento multidisciplinar da força de trabalho.

7. Aumentar a transparência do processo;

Processos pouco transparentes aumentam a chance de ocorrência de erros, diminuem a visibilidade dos erros e diminuem a motivação para melhorar. Algumas abordagens práticas para alcançar isso são: diminuir desorganização (utilização do método 5S, por exemplo); tornar o processo observável; implementar indicadores que tornem visíveis atributos do processo que são difíceis de enxergar; controles visuais que permitam que qualquer pessoa reconheça o padrão e desvios do mesmo; diminuição da interdependência entre unidades de produção.

8. Focar o controle na totalidade do processo;

O processo precisa ser medido em sua totalidade e é necessário um responsável por controlar o processo em sua totalidade.

9. Promover melhorias contínuas no processo;

Com foco na redução de perdas e aumentar o valor, a melhoria contínua tem as características de ser interna, incremental e iterativa. É importante observar as diferenças entre melhoria contínua e inovação. No geral a melhoria contínua foca na eficiência de processos de fluxo, ocorre em pequenas etapas, é contínua, baseada nas melhores práticas e no know-how interno, requer pequenos investimentos e tem esforço orientado à pessoas, enquanto a inovação foca na eficiência de conversões, ocorre com grandes saltos de eficiência, é intermitente, é baseada em avanços tecnológicos externos, requer grandes investimentos e tem esforço orientado à tecnologia. A Figura 4 ilustra as principais diferenças entre os dois.

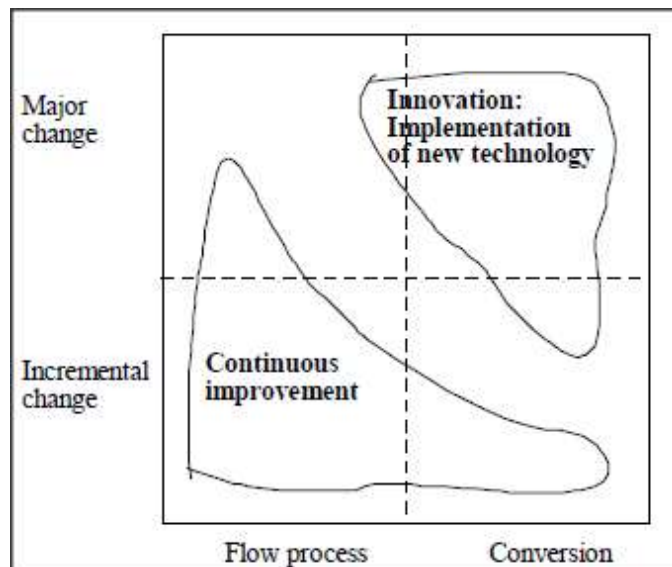


Figura 4: Comparativo entre melhoria contínua e inovação (Fonte: Koskela, 1992)

Alguns métodos para institucionalizar a melhoria contínua são: medir e monitorar melhorias; definir metas para resolução de problemas existentes; dar a todos

os funcionários a responsabilidade pelas melhorias dos processos; utilizar normas como melhores práticas; focar na eliminação de problemas em sua raiz e não em formas de lidar com seus efeitos.

10. Balancear melhorias em fluxo com melhorias em conversão

Ao aprimorar atividades produtivas, tanto as atividades de transformação quanto as de fluxo precisam ser abordadas. Deve-se levar em conta que o potencial de melhorias em atividades de fluxo geralmente é maior que nas atividades de transformação e também pode ser feito inicialmente com investimentos menores. No entanto, é importante balancear as melhorias em ambos os tipos de atividades já que elas estão inter-relacionadas. Dessa forma, é possível concluir que: fluxos melhores necessitam de menor capacidade de transformação, portanto menos investimentos em equipamentos; fluxos mais controlados tornam a implementação de novas tecnologias mais fácil; novas tecnologias de transformação podem resultar em menor variabilidade, portanto, benefícios no fluxo.

11. Benchmark

Benchmarking significa comparar o desempenho atual da empresa com o dos líderes do mercado. Em essência é entender e implementar as melhores práticas do mercado. Algumas etapas para o benchmarking são: conhecer o processo entendendo as forças e fraquezas dos subprocessos; conhecer os líderes da indústria e competidores, entendendo e comparando as melhores práticas; incorporar as melhores práticas (senão por completo em parte, ou de forma modificada) em seus próprios subprocessos; melhorar combinando forças e melhores práticas do mercado.

2.2.2 Desperdícios

Como visto no item anterior, a redução de desperdícios nos processos é um dos principais princípios do Lean Thinking. Os textos de referência sobre o assunto, predominantemente em língua inglesa, utilizam a palavra *waste* para tratar deste princípio, que pode ser traduzida para o português de diversas formas como “desperdício”, “lixo”, “perda”, “resto”, “gasto”, “esbanjamento”, “sobra”, entre outros. Neste item, serão apresentados os diversos tipos de perdas que existem nos processos do ponto de vista do Lean Thinking e, para evitar o relacionamento deste conceito unicamente com “resíduos materiais de processos”, como pode acontecer, o termo utilizado neste texto para tratar deste princípio será “desperdício”.

Segundo PICCHI (2017), desperdício é tudo que consome recursos, mas não agrega valor ao cliente. Em 1997, Ohno identificou sete tipos de desperdícios e disse que *“a eliminação completa desses desperdícios pode aumentar a eficiência de operação por uma ampla margem. Para fazê-lo, devemos produzir apenas a quantidade necessária, liberando assim a força de trabalho extra”*. PICCHI (2017) explica os 7 tipos de desperdícios:

1. Superprodução

Este é considerado como o principal dos desperdícios porque acaba agravando todos os demais. É quando a produção é maior que o necessário, utilizando recursos, gerando estoques e causando deslocamentos desnecessariamente. Pode ser resumida como quando a capacidade é consumida de forma que o cliente não seja atingido.

2. Espera

Esse desperdício ocorre quando alguém ou algum equipamento que deveria estar produzindo não está fazendo nada, sendo um dos principais motivos para isso a instabilidade e o desbalanceamento entre etapas. O ideal é que todos os processos ocorram em fluxo contínuo, sem interrupção.

3. Transporte

Fazer qualquer tipo de transporte de materiais que poderia ser evitado é um grande desperdício. Além disso, o transporte pode gerar desperdício no caso da existência de estoques intermediários ou de grandes distancias entre a linha de produção e os estoques.

4. Superprocessamento

Também podendo chamado de “Processamento desnecessário” é quando se fazem ações que não necessitam ser feitas e que, mesmo que fossem eliminadas, não fariam faltas. Geralmente ocorre em casos de processos que faziam sentido em determinada situação, mas foram mantidos após mudanças nas condições do processo.

5. Estoque

Ocorre quando algum produto na cadeia de produtiva não é consumido, seja pelo cliente final ou pelo processo seguinte. O desperdício mais reconhecido quanto ao estoque é o custo financeiro de ter “dinheiro parado”, mas outros desperdícios podem ser observados na existência do estoque como por exemplo a possibilidade de retrabalho devido à demora na detecção de defeitos.

6. Movimento

Semelhante ao transporte, a movimentação de pessoas também pode ser considerado desperdício se não criar valor para o cliente. Por exemplo um operário fica procurando uma ferramenta dentro de uma fábrica ou grandes distancias a serem percorridas entre estações de trabalho.

7. Defeitos

Quando algo é produzido com defeitos é gerado retrabalho, sendo necessário consumir tempo, força de trabalho e recursos para correção do produto.

Womack e Jones (2017), os fundadores do Lean Enterprise Institute, propõem um oitavo desperdício que seria o desperdício de talento como, por exemplo, designando certas funções a pessoas que não tenham habilidade ou capacitação para exercê-la em detrimento de atividades que elas possam realizar. Davenport, Shapiro e Harris (2010) realizaram uma pesquisa que revelou que empresas que sabem aproveitar bem seus talentos aumentam sua vantagem competitiva. Os oito desperdícios discutidos aqui são sintetizados na Figura 5.



Figura 5: Os Oito Desperdícios do Lean Thinking

(Fonte: <http://www.ecoprodconsultoria.com.br/blog/reducao-de-perdas>, acesso em 14/11/2019)

Koskela (2004) propôs a existência de um outro tipo de desperdício, o qual denominou “making-do”, que significa “fazer com que seja iniciado”. O making-do refere-se às atividades que são iniciadas sem que todos os insumos estejam disponíveis ou atividades que sejam continuadas mesmo que a disponibilidade de um insumo tenha acabado, que são fenômenos comuns nos processos de produção. Neste caso, insumos podem se referir não somente a materiais como também equipamentos, ferramentas, pessoal, condições do entorno e informações.

A primeira causa da ocorrência do making-do segundo Koskela(2004) seria a “síndrome da eficiência”, que seria o impulso de manter os recursos sendo utilizados tanto quanto possível, já que a ociosidade deles prejudicaria indicadores de desempenho como a “taxa de utilização” dos recursos. Em segundo lugar, o making-do ocorre devido a forma convencional de planejamento e gerenciamento dos processos, em que se um processo foi planejado para ter início em determinada data, existe uma pressão para que

ele seja iniciado, mesmo sem possuir todos os insumos, pois se tem a impressão de que dessa forma será completado mais cedo. Por último, existe a situação em que os níveis de produção estão separados indevidamente, de forma a tornar incontrollável o número de componentes de determinado processo. Este último pode ser notado constantemente no caso da indústria da construção onde para cada atividade existe geralmente sete ou mais recursos necessários para execução, sendo que cada um possui um certo nível de incerteza.

As consequências do making-do podem ser divididas em duas áreas: técnica e comportamental. Quanto às consequências técnicas, o making-do causa o aumento do tempo de produção e da variabilidade, e, conseqüente redução da produtividade e aumento dos custos de operação. Além disso, outras consequências são o aumento da complexidade dos processos, menor qualidade e mais retrabalho. Quanto ao âmbito comportamental, Ronen (1992) sugere que o making-do causa a diminuição da motivação dos operários, assim como, diminuição do esforço para garantir a chegada dos insumos faltantes.

Ao realizar estudos em duas obras no Brasil, FORMOSO et. al(2011) concluiu que as causas das atividades em que ocorreu o making-do foram a falta de efetividade em prover instalações provisórias adequadas, gerenciamento ruim do espaço de trabalho e falta de informações. Os principais impactos foram semelhantes em ambas as obras: desperdício de material, condições de segurança ruins e piora na motivação.

2.2.3 Características da Construção Civil

Para que seja possível aplicar os princípios e ideias do Lean Thinking à indústria da construção civil é necessário entender quais são as características únicas dessa indústria, já que o surgimento e principal desenvolvimento dessa nova filosofia se deu na indústria seriada. Souza (2000) sugere que *“o canteiro [de obras] é a fábrica cujo produto final é o edifício”* e, fazendo um paralelo com a indústria seriada, enxerga três preocupações ao se projetar a produção de um produto: o projeto do produto, que define exatamente o produto pretendido; o projeto do processo, que define as etapas do processo produtivo, para se transformar a matéria prima no produto pretendido; e o projeto da fábrica, que define e organiza o espaço para que o processo produtivo ocorra. A Figura 6 ilustra estes projetos necessários à produção de um produto (no exemplo, um carro).



Figura 6: O projeto da fábrica como uma atividade da concepção do produto (Fonte: SOUZA, 2000)

Ao comparar a indústria seriada à Construção Civil, Souza (2000) diz que as características da última *“fazem com que a atividade de projetar a fábrica se torne mais complexa”*. Deve-se tomar cuidado ao aplicar os conceitos do Lean Construction visto que estes são apenas válidos na medida em que a construção se assemelhar com a manufatura e tendo a devida adaptação (SOUZA; ARAÚJO, 2005). As seguintes diferenças em relação à manufatura devem ser levadas em conta ao analisar a indústria da construção:

1. O produto “fica” e a fábrica “sai”;

Na indústria seriada a fábrica fica anos no mesmo local, produzindo o mesmo produto, enquanto o canteiro de obras é implantado para produzir um único produto e depois é desmobilizada. A linha de produção caminha pelo produto e os desperdícios também estão em constante mudança, ocorrendo em eventos singulares e desaparecendo com o passar do tempo. (SOUZA, 2000; BØLVIKEN; KOSKELA, 2016)

2. Foco na produção do produto;

Diferente da manufatura que foca no gerenciamento do processo que, usualmente, é sequencial e consome os mesmos recursos em operações constantes. Na construção tem-se atividades concorrentes, muitas equipes num mesmo local e a natureza do trabalho varia. Além disso, o detalhamento do projeto do produto e do processo são menores na Construção Civil, o que dificulta a concepção do canteiro. (SOUZA, 2000; RANDOLPH THOMAS; SINHA, 2002; SOUZA; ARAUJO, 2005)

3. Canteiro de obras em constante mudança;

Conforme o andamento da obra, as atividades em execução mudam, o que demanda mudanças no canteiro de acordo com cada momento, ao contrário da indústria seriada, onde os processos e a fábrica permanecem os mesmos por tempo indeterminado. Além disso, com a ocorrência de

diferentes atividades ao longo da obra, os recursos necessários para sua realização também variam constantemente. (SOUZA, 2000; SOUZA; ARAUJO, 2005)

4. Limitações para medição de desempenho;

Na construção os métodos, saídas e tempos de ciclo dos processos variam bastante (podendo ser medidos, por exemplo pela quantidade de horas por unidade produzida). Como consequência, para melhoria do desempenho, se foca na melhora do ambiente em que o trabalho é feito. Enquanto isso, na manufatura as entradas de materiais e mão de obra permanecem constantes, sendo facilitada a forma de medir o desempenho dos processos (por exemplo, quantidade diária de produtos fabricados) (DIEPENBRUCK, 2017)

5. Locais e condições de trabalho em constante mudança;

A construção está mais sujeita a “congestionamentos” do local de trabalho, a problemas relativos à disponibilidade de recursos e às variações climáticas, enquanto na manufatura o trabalho é estável, e a influência das condições meteorológicas não é relevante. (SOUZA; ARAUJO, 2005)

6. Necessidade de estoque como garantia;

Enquanto na manufatura a estabilidade da produção permite a operação com estoques em nível mínimo (“Just-in-Time”) e produção puxada pela demanda, as incertezas nos processos da construção tornam importantes ter estoques de recursos na quantidade suficiente no local em que será utilizado (“Just Enough”). (SOUZA; ARAUJO, 2005; DIEPENBRUCK, 2017)

7. Gerenciamento de projeto, prazo e custo na fase de construção;

Na manufatura a área de produção é responsável pelo custo, qualidade e prazo de entrega, não sendo afetada por questões comerciais e de projeto, enquanto na construção a produção é responsável por gerenciar simultaneamente o projeto, o prazo e o custo do produto, fazendo com que a liderança tenha que dividir sua atenção, não concentrando esforços apenas na produção. Uma das consequências disso é a redução de desperdícios parecer menos importante na construção civil. (SOUZA; ARAUJO, 2005; BØLVIKEN; KOSKELA, 2016)

2.2.4 Ferramentas e Métodos

Neste item serão abordadas duas ferramentas do Lean Construction que são amplamente utilizadas no ambiente da construção civil:

2.2.4.1 Location Based Management System (LBMS)

O LBMS (Sistema de Gerenciamento Baseado em Localização, em tradução livre) é uma técnica que transforma quantidades de tarefas a serem executadas em locais

determinados e informações de produtividade em durações confiáveis, explicitando folgas e prevendo o desempenho futuro através de tendências históricas e avisos de futuros problemas de produção. (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010) Esse sistema surgiu a partir da combinação dos métodos de linha de balanço e de fluxo, concentrando-se nos aspectos do planejamento e, recentemente, também do controle (BALLARD et Al., 2010)

O planejamento no LBMS é definido a partir de uma Estrutura Analítica de Locais (do inglês *Location Breakdown Structure*, ou LBS), como exemplificado na Figura 8. Cada tarefa é definida em um nível hierárquico desta estrutura e inclui um ou mais locais. As durações são calculadas multiplicando as quantidades de serviço em cada local pelo fator de produtividade (Razão Unitária de Produção, ou RUP, em homem-hora / unidade do serviço) e dividindo pelo tamanho da equipe (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

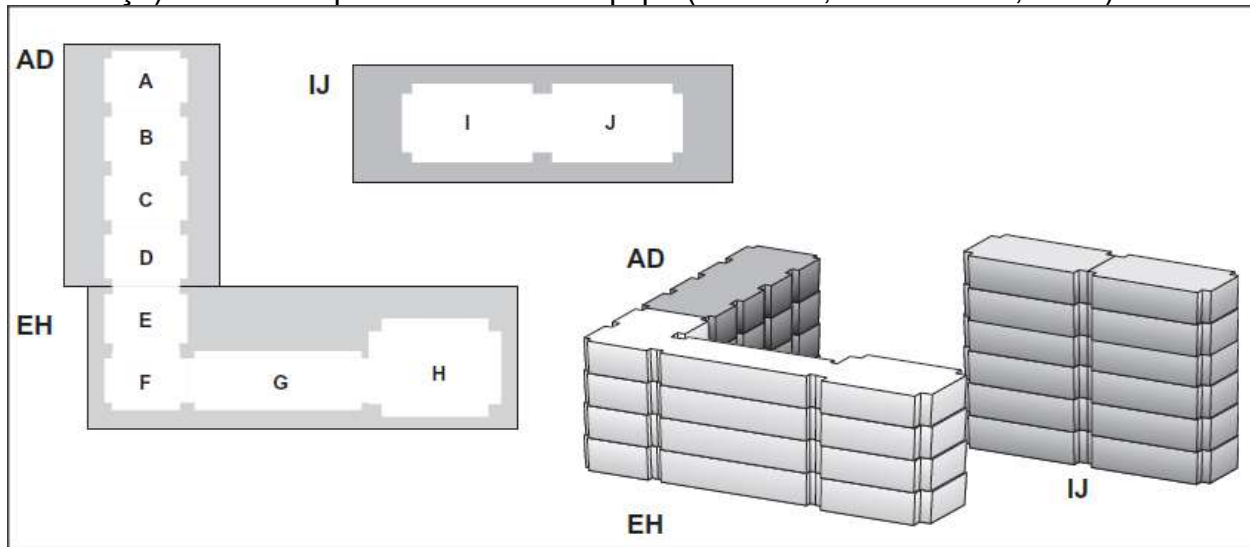


Figura 7: Esquema de projeto residencial setorizado (Fonte: KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)

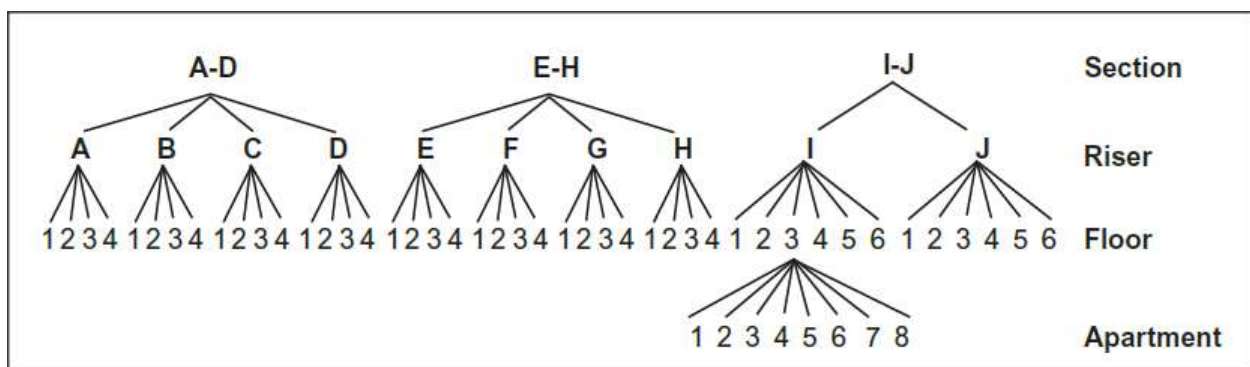


Figura 8: Possível Estrutura Analítica de Locais para o projeto da Figura 7 (Fonte: KENLEY; SEPPÄNEN, 2010)

O objetivo dessa técnica é otimizar o fluxo do trabalho de forma que “o trabalho não espere os trabalhadores e os trabalhadores não esperem pelo trabalho” (BALLARD et Al., 2010). Para isso, existe um algoritmo aplicável ao CPM (*Critical Path Method*, ou Método do Caminho Crítico) que permite o planejamento de fluxos contínuos de trabalhando a partir do adiamento de tarefas para que o trabalho possa ser feito de forma contínua. Outro componente importante dessa técnica é o manuseio das folgas (*buffers*)

que, da mesma forma que as defasagens (*delays*) em planejamento, podem ser absorvidas durante o controle. Na Figura 9 podemos observar um exemplo de cronograma em linhas de fluxo com tarefas contínuas, porém não otimizadas, devido à existência de lacunas (círculos vermelhos). Já na Figura 10, temos o cronograma em linhas de fluxo após o balanceamento da atividade 2 (diminuição da taxa de produção desta tarefa) que resulta na diminuição do prazo total.

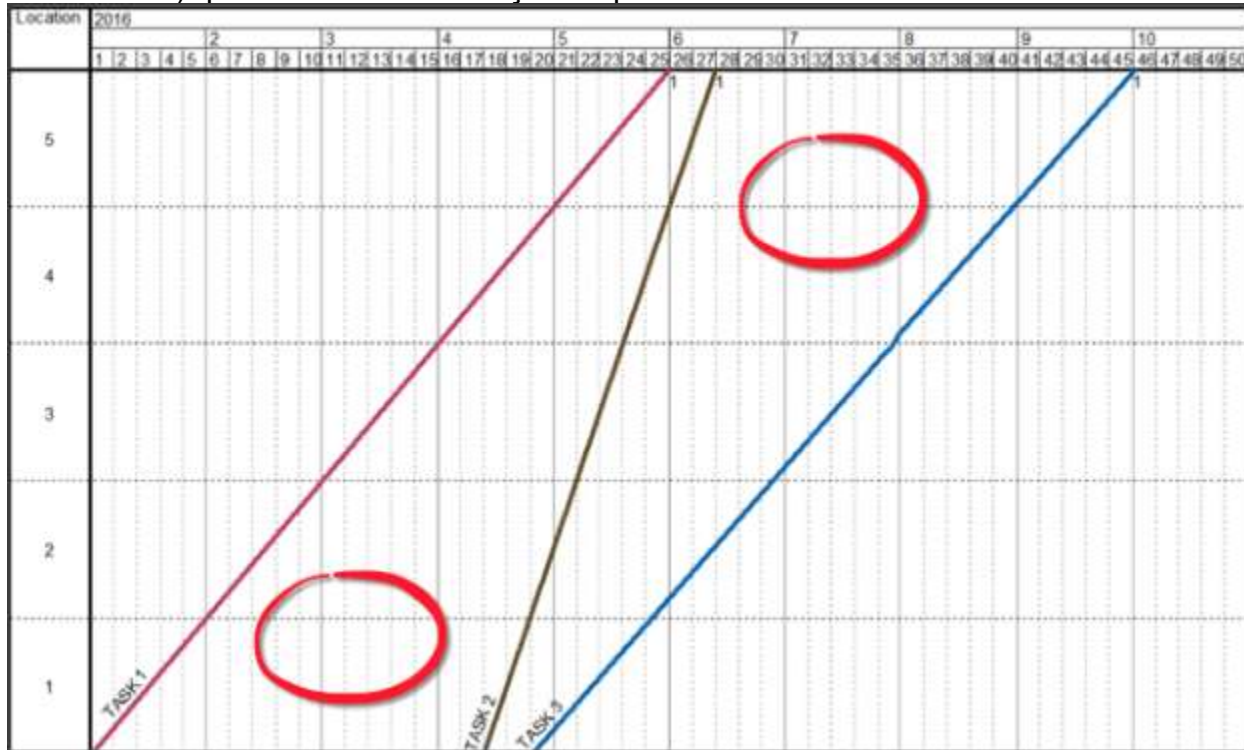


Figura 9: Exemplo de linhas de fluxo desbalanceadas. Duração total: 45 dias (Fonte: SEPPÄNEN, 2016)

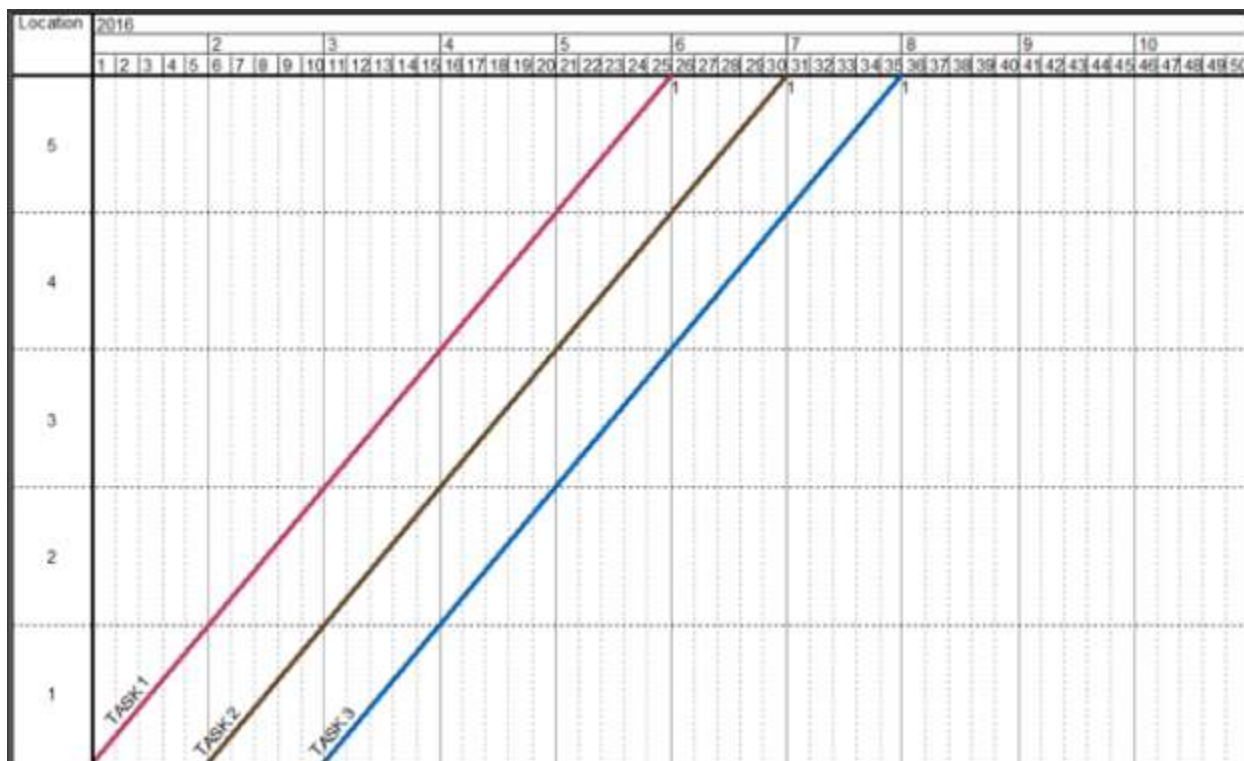


Figura 10: Linhas de fluxo após balanceamento. Duração total: 35 dias (Fonte: SEPPÄNEN, 2016)

O controle no LBMS é feito a partir de 4 fases de informação: linha de base, atual (*current*), realizado (*actual*) e previsto (*forecast*). O cronograma linha de base estabelece restrições ao cronograma atualizado. No cronograma atualizado é possível alterar as quantidades, taxas de produtividade e sequenciamento durante a produção. Cada tarefa no cronograma atualizado deve corresponder a uma tarefa no cronograma linha de base para fins de comparação. O real desempenho de cada local e tarefa é verificado através do realizado. Para calcular o consumo de recursos realizado (em homens-hora/unidade) é necessário, além das datas de início e término, os dias em que as atividades ficaram suspensas e os recursos utilizados na execução. A previsão combina as informações do atual e do realizado para fornecer avisos de possíveis problemas. A Figura 11 temos um exemplo do controle de execução no LBMS (BALLARD et Al., 2010). Na figura, as atividades representadas com linha contínua representam as atividades da linha de base ou do cronograma atual, as linhas pontilhadas representam as atividades realizadas e as linhas tracejadas representam a previsão das atividades. Nesse caso, foram adicionadas folgas de três dias entre as atividades (como pode ser visto se comparado à Figura 10). As circunferências são avisos para a possibilidade da atividade consumir toda a folga existente.

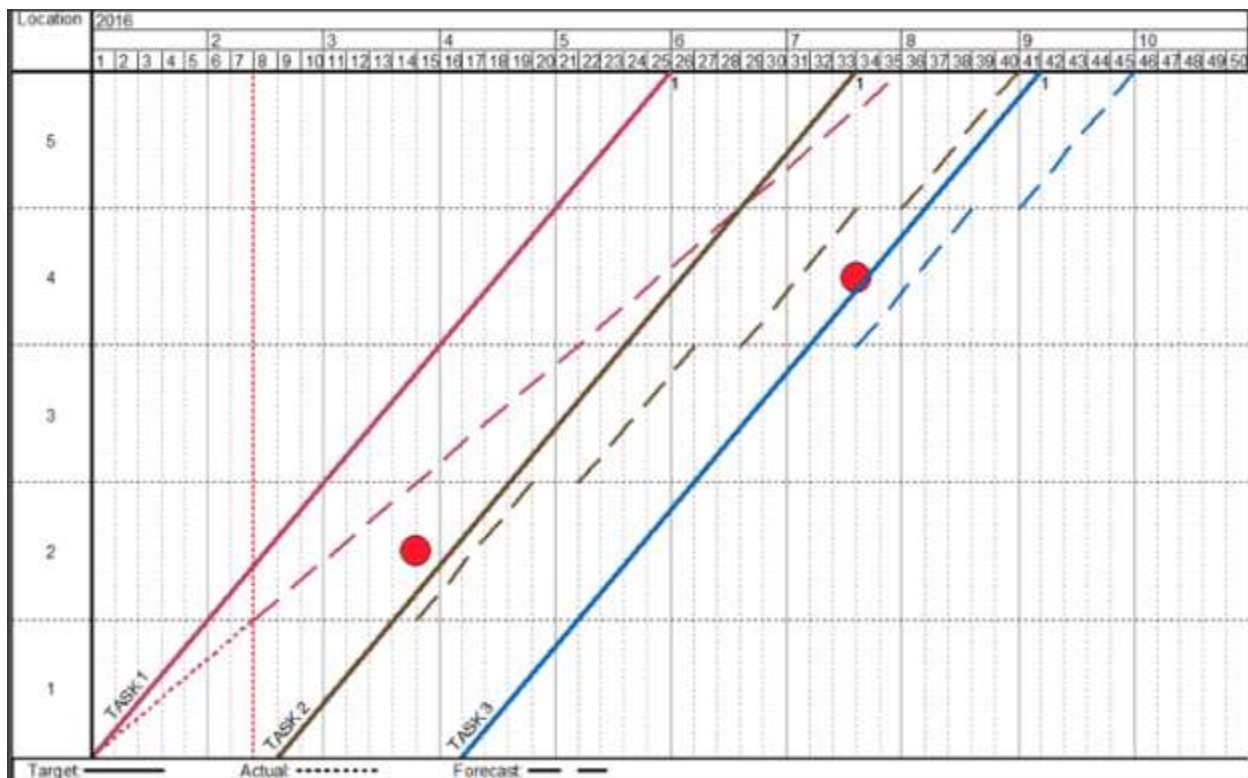


Figura 11: Controle no LBMS (Fonte: SEPPÄNEN, 2016)

Ballard (2010) alega que os utilizadores da técnica CPM enxergam como limitação no LBMS a necessidade de mais informações que o CPM, como os quantitativos por local e as taxas de produtividade para as tarefas subcontratadas. Segundo Seppänen (2009) a implantação do LBMS sem a correta adequação de todos os envolvidos ao processo leva a resultados subotimizados, mesmo quando a informação necessária para gerenciar o projeto está disponível aos responsáveis por tomar decisões. Ballard et Al. (2010) propõe a combinação do LBMS com o LPS (a ser tratado no item 2.2.4.2) para potencialização dos benefícios em relação com a implantação individual de cada um, otimizando assim a conformidade com o planejado, aumentando a produtividade e diminuindo durações.

2.2.4.2 Last Planner® System (LPS)

O Last Planner System (LPS) é um sistema de controle da produção, adaptado da indústria da manufatura, desenvolvido a partir de 1992 por Glenn Ballard, sendo apresentado pela primeira vez na conferência de fundação do IGLC (International Group for Lean Construction) em 1993. Esta ferramenta busca diminuir o grau de incerteza do planejamento criando um fluxo de trabalho contínuo e trazendo uma maior estabilidade para a produção. Isso porque, ao invés de focar numa unidade de produção imediata, foca no aumento da confiabilidade do fluxo de trabalho entre unidades de produção. (BALLARD, 2000)

O termo “Last Planner” refere-se àquela pessoa (ou grupo de pessoas) responsável pela transição entre o planejamento e a produção, possuindo a autoridade

necessária para tomar decisões e estabelecer tarefas. Assim, como mostrado no fluxo da Figura 12, esse responsável deve determinar, com base nas tarefas que devem ser executadas (segundo o planejamento do trabalho) e nas tarefas que podem ser executadas (que possuem os recursos necessários), uma lista de trabalho “pronto para ser executado”, a partir da qual as programações semanais podem ser criadas. (BALLARD; HOWELL, 1994)

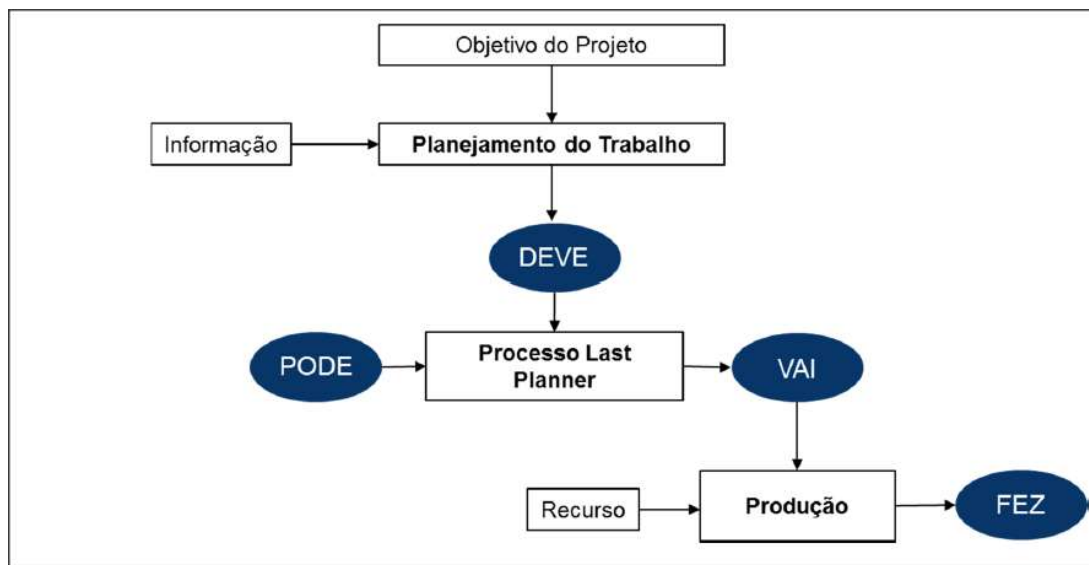


Figura 12: Fluxo LPS: Should - Can - Will - Did (Fonte: BALLARD, 2000)

Conforme apresentado na Figura 13, o LPS pode ser dividido em 4 níveis. O primeiro nível é o Plano Mestre, que é limitado às datas-marco do projeto e itens de longa duração. O segundo nível é o Cronograma Puxado (*Pull Scheduling*) que são planejados pela equipe que realizará o trabalho, partindo da data de conclusão para o presente. Dessa forma, as atividades são definidas e sequenciadas de forma que, quando finalizadas, liberam outras atividades. Neste nível também são estudados os recursos necessários para as atividades. (BALLARD et Al., 2010)

No “Planejamento Look-ahead”, terceiro nível do LPS, os planejadores selecionam as atividades definidas no Cronograma Puxado que estão certos que podem ter todas as restrições removidas a tempo nas próximas 2-6 semanas). Essas atividades selecionadas são divididas em tarefas. Então, no quarto e último nível (Programação Semanal), são definidas as tarefas a serem realizadas na próxima semana de trabalho. (BALLARD et Al., 2010)

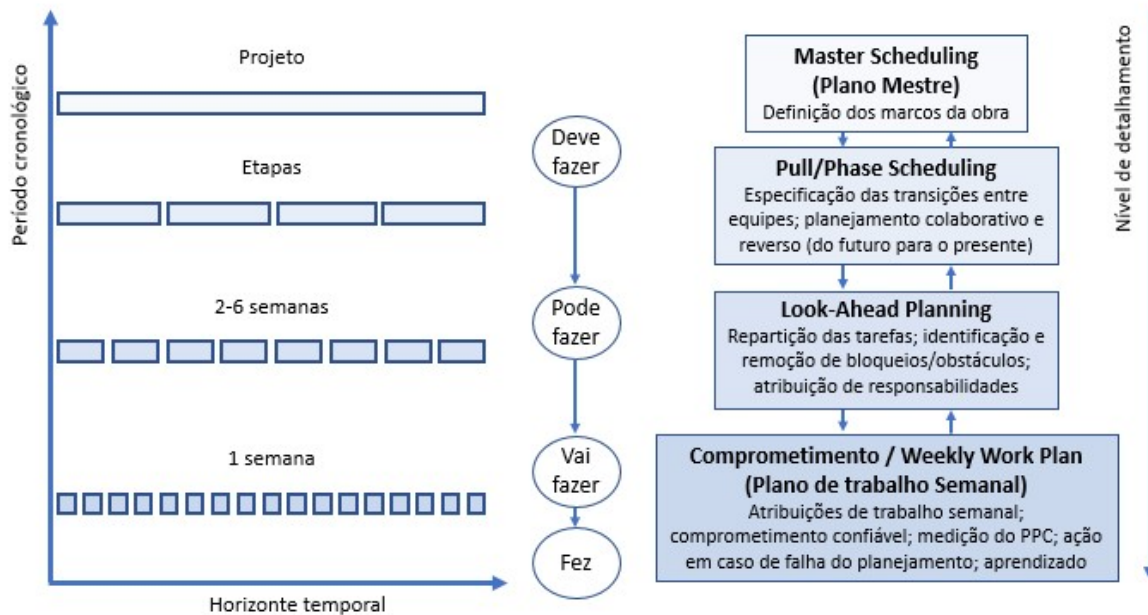


Figura 13: Estágios do planejamento no Last Planner® System (Fonte: Ballard, 2000)

A cumprimento do plano semanal é medido através de um indicador chave do Last Planner, que é o PPC (Percentual da Programação Cumprida). O PPC é a razão entre a quantidade de tarefas concluídas e a quantidade de tarefas planejadas. Cada tarefa que não for cumprida deve ter a causa do descumprimento analisada para prevenir que o problema se repita (BALLARD, 2000).

2.3 Planejamento de Canteiro

2.3.1 Canteiro de Obras

A Norma Regulamentadora 18 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978) “estabelece diretrizes que objetivam a implementação de medidas de controles e sistemas preventivos de segurança nos processos, nas condições e no meio ambiente de trabalho na Indústria da Construção”. Esta mesma norma define como canteiro de obra como sendo “a área de trabalho fixa e temporária onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra. Já a NBR-12284 (ABNT, 1991), define o canteiro de obras de forma semelhante, mas dividindo-o em áreas operacionais e áreas de vivência. Esta norma fixa critérios mínimos para a permanência de trabalhadores nos canteiros de obra.

Como já citado no Item 2.2.3, Souza (2000, p.13) sugere que “o canteiro [de obras] é a fábrica cujo produto final é o edifício” e afirma que o “canteiro deve ser analisado sob o ponto de vista dos processos de produção e também como espaço de vivência das pessoas envolvidas na produção”. Segundo Saurin e Formoso (2006, p.14), “é ponto pacífico que um estudo criterioso do layout e da logística do canteiro deve estar entre as primeiras ações para que sejam bem aproveitados todos os recursos materiais e humanos empregados na obra, qualquer que seja seu porte”.

O planejamento do canteiro de obras pode ser separado em duas frentes: o planejamento do layout e o planejamento logístico. O planejamento do layout envolve a

definição do arranjo físico de trabalhadores, materiais, equipamentos, áreas de trabalho e de estocagem (FRANKENFELD, 1990 apud SAURIN; FORMOSO, 2006). Já a logística na construção civil pode ser definida como um processo que *“visa garantir o abastecimento, a armazenagem, o processamento e a disponibilização dos recursos materiais nas frentes de trabalho, bem como o dimensionamento das equipes de produção e a gestão dos fluxos físicos de produção”* (SILVA; CARDOSO, 1998, p.3).

2.3.2 Projeto de Canteiro

Souza (2000) compara o processo de compor um canteiro de obras a montar um mosaico, onde é preciso selecionar as partes necessárias, preconceber a conjugação das partes e, por último, implantar efetivamente. FERREIRA E FRANCO (1998, p.4) definem o projeto de canteiro como *“o serviço integrante do processo de construção, responsável pela definição do tamanho, forma e localização das áreas de trabalho, fixas e temporárias, e das vias de circulação, necessárias ao desenvolvimento das operações de apoio e execução, durante cada fase da obra, de forma integrada e evolutiva, de acordo com o projeto de produção do empreendimento, oferecendo condições de segurança, a saúde e motivação aos trabalhadores e, execução racionalizada dos serviços”*.

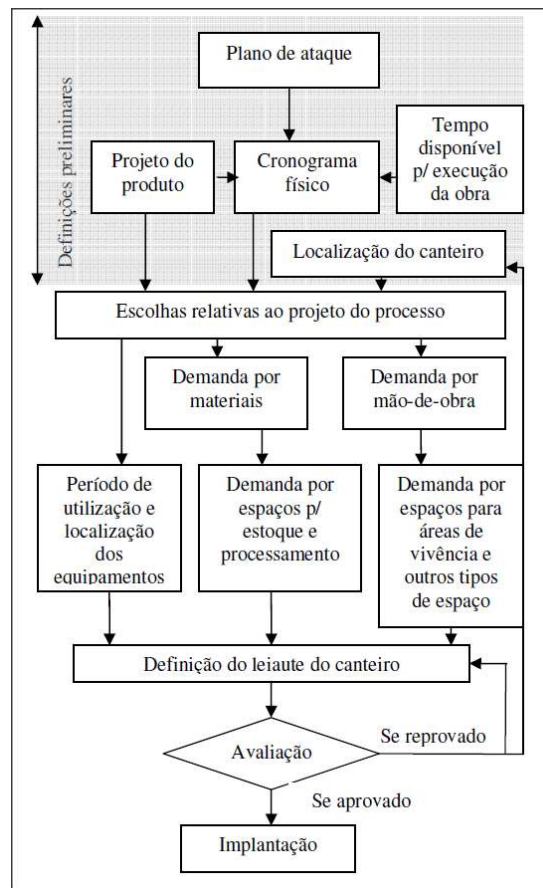


Figura 14: Fluxograma de atividades (SOUZA, 2000)

Para a concepção e implantação do projeto de canteiro, SOUZA (2000) propõe um processo, representado no fluxograma de atividades da Figura 14. Nesse processo são pré-requisitos para início do estudo do layout do canteiro o projeto do produto, o plano de ataque da obra, o cronograma físico gerado a partir do plano de ataque e a localização do canteiro. Esses pré-requisitos formam as “Definições Preliminares”.

Para Ferreira e Franco (1998), o planejamento do canteiro de obra precisa ser elaborado considerando as diversas fases da obra, a partir dos meses críticos de cada fase. Estes devem ser estudados com base na maior dificuldade de movimentação dos materiais e em função dos quantitativos de mão-de-obra. Souza (2000) destaca seis principais fases nas quais geralmente as obras de edifícios podem ser divididas:

1. Movimento de terra, contenção da vizinhança e fundações
2. Estrutura do(s) subsolo(s) sob a torre e a periferia
3. Estrutura do restante da torre
4. Estrutura e alvenaria
5. Estrutura, alvenaria e revestimentos argamassados
6. Finalização da obra

2.3.2.1 Planejamento de Obra

Segundo Ferreira e Franco (1998), *“o plano de ataque consiste na estratégia de execução da obra, com a definição das etapas iniciais e da sequência construtiva, dependendo assim das características do projeto do produto, do prazo para execução, das tecnologias disponíveis e do conhecimento das mesmas, do balanço entre os recursos necessários e disponíveis, das características do terreno, e das condições climáticas, entre outros”*. Souza (2000) define plano de ataque como *“a relação de precedência entre as principais atividades da construção”* sendo que a partir do plano de ataque pode-se elaborar o cronograma físico da obra.

Tendo um plano de ataque estabelecido, é necessário elaborar um cronograma físico que permita fazer o planejamento de transportes e de espaços para estocagem. É recomendado que sejam detalhados semanalmente os serviços de armação, concretagem da estrutura, alvenaria e revestimentos de argamassa. Para outros serviços, como instalações elétricas e hidráulicas, instalação do elevador definitivo e cerâmicas é necessária a indicação apenas do início e final de serviços já que a área necessária para estoque desses serviços pode ser prevista sem uma quantificação detalhada. (SOUZA, 2000).

2.3.2.2 Elementos de Canteiro

O projeto das fases do canteiro deve ser realizado com base nos elementos que devem estar presentes em cada fase e suas características, além das interrelações dos elementos e dos fluxos dos processos (FERREIRA; FRANCO, 1998). SOUZA et Al. (1997) definem como elemento de canteiro cada parte que compõe o canteiro de obras. Os autores listam e classificam os principais elementos de canteiro conforme a seguir:

Ligados à produção

- Central de argamassa
- Pátio de armação (corte/dobra/pré-montagem)
- Central de fôrmas
- Central de pré-montagem de instalações
- Central de esquadrias
- Central de pré-moldados

De apoio à produção

- Almojarifado de ferramentas
- Almojarifado de empreiteiros
- Estoque de areia
- Estoque de argamassa intermediária
- Silo de argamassa pré-misturada a seco
- Estoque de cal em sacos
- Estoque de cimento em sacos
- Estoque de argamassa industrializada em sacos
- Estoque de tubos
- Estoque de conexões
- Estoque relativo ao elevador
- Estoque de esquadrias
- Estoque de tintas
- Estoque de metais
- Estoque de louças
- Estoque de barras de aço
- Estoque de compensado para fôrmas
- Estoque de passarela para concretagem

Sistemas de transporte com decomposição de movimento:

- Na horizontal: carrinho; jérica; porta-palete; “dumper”; “bob-cat”
- Na vertical: sarilho; talha; guincho de coluna; elevador de obras

Sistema de transportes sem decomposição de movimento:

- Gruas: torre fixa; torre móvel sobre trilhos; torre giratória; torre ascensional
- Guindastes sobre rodas ou esteiras
- Bombas: de argamassa; de concreto

De apoio técnico/administrativo

- Escritório da engenharia
- Sala de reuniões
- Escritório do mestre e técnico
- Escritório administrativo
- Recepção/ guarita
- Chapeira de ponto

Áreas de vivência

- Alojamento
- Cozinha
- Refeitório
- Ambulatório
- Sala de treinamento/ alfabetização
- Área de lazer
- Instalações sanitárias
- Vestiário
- Lavanderia

Outros Elementos

- Entrada de água
- Entrada de luz
- Coleta de esgotos
- Portão de materiais
- Portão de pessoal
- “Stand” de vendas

De complementação externa à obra

- Residência alugada/comprada
- Terreno alugado/comprado
- Canteiro central

Na Figura 15 é apresentado um fluxograma com as etapas para elaboração do projeto das fases do canteiro. Após a alocação dos elementos deve-se fazer a avaliação do arranjo físico para verificar se o mesmo é satisfatório. Caso não seja, é necessário repetir o processo, realocando os elementos do canteiro até se chegar a uma solução satisfatória (FERREIRA; FRANCO, 1998).

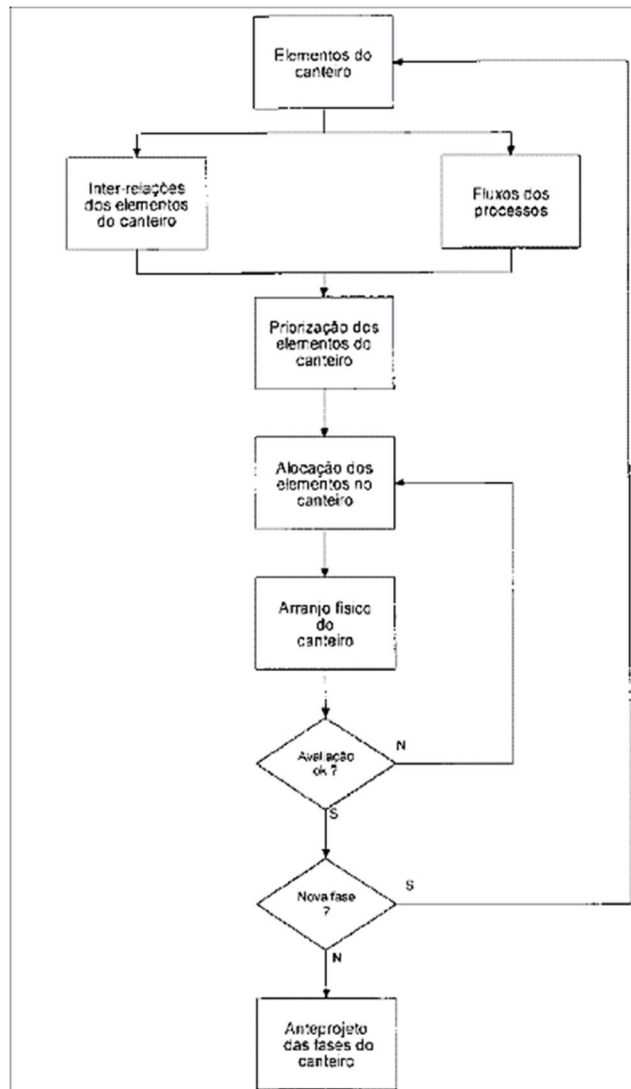


Figura 15: Fluxograma para elaboração do anteprojeto das fases do canteiro (Fonte: FERREIRA; FRANCO, 1998)

Proposto por MUTHER (1978), o Systematic Layout Planning (Planejamento Sistemático de Layout) é uma sistematização do processo de projeto do arranjo físico baseado em três conceitos fundamentais: interrelações entre atividades, espaço ocupado pelos elementos e ajuste do arranjo. É possível analisar as relações entre os elementos de um canteiro de obras utilizando uma das ferramentas do SLP que é a Carta de Interligações Preferenciais (Figura 16), conforme aplicado por ELIAS (1998). A partir das informações sintetizadas na carta, os elementos devem ser alocados no layout conforme a necessidade de proximidade entre eles (primeiramente são alocados os elementos com proximidade “absolutamente necessária”, depois os elementos com proximidade “muito importante”, e assim por diante).

CARTA DE INTERLIGAÇÕES PREFERENCIAIS

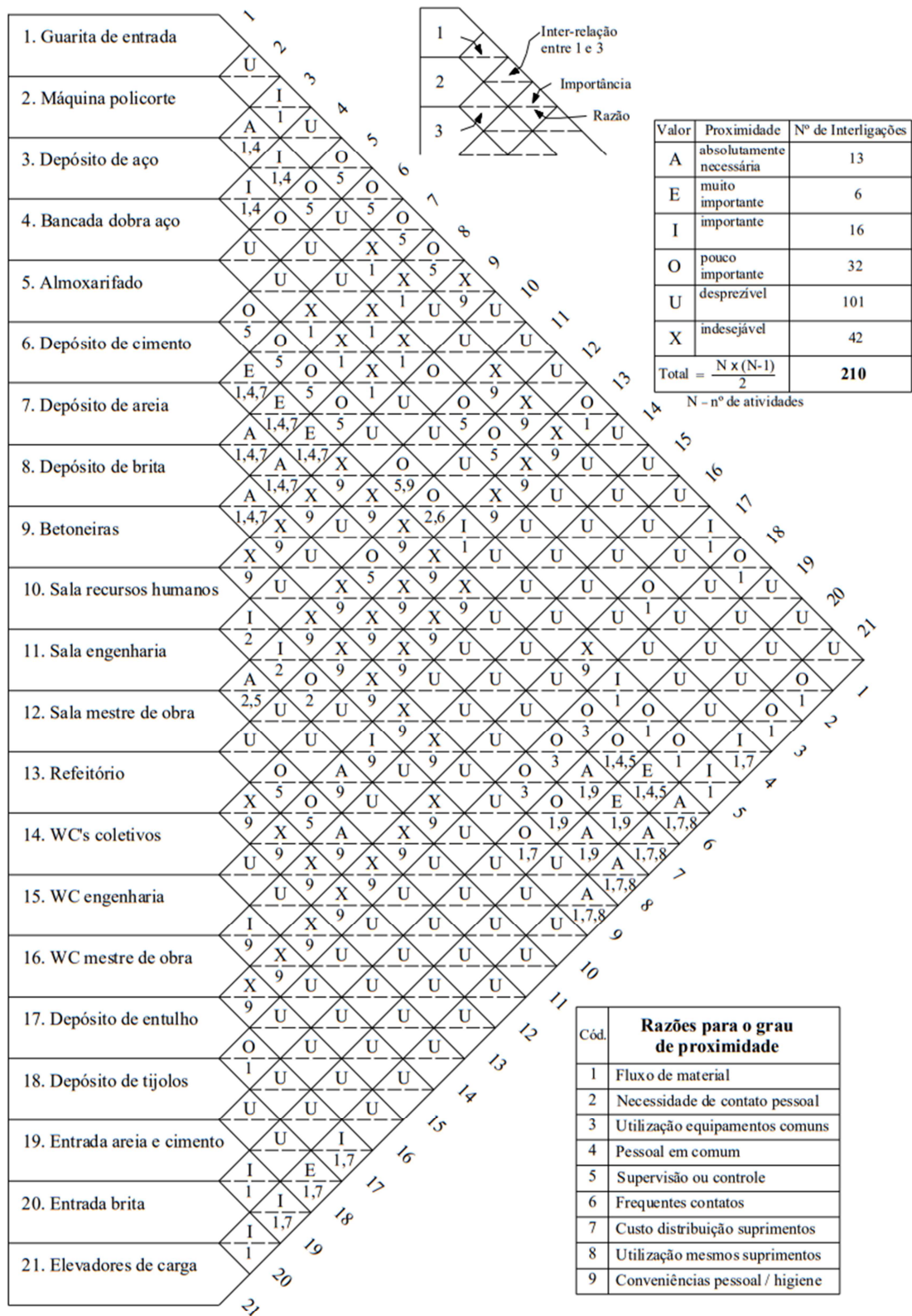


Figura 16: Carta de interligações preferenciais (Fonte: Elias et al., 1998)

2.3.2.3 Equipamentos de Transporte

LICHTENSTEIN (1987) cita como caminhos para a racionalização do transporte na construção de edifícios de múltiplos andares o arranjo do canteiro pensando na redução das distâncias de movimentação e a formulação de modelo para o dimensionamento e operação dos sistemas de transporte do canteiro. Segundo o autor, para analisar o transporte da obra é necessário, *“pelo menos, um esboço do cronograma, com os tempos disponíveis para a realização das atividades e um esboço do canteiro, com o estabelecimento dos locais de descarga, estocagem, manipulação e aplicação dos materiais e componentes. A partir dos tempos disponíveis e do esboço do canteiro, escolhe-se e dimensiona-se o sistema de transporte adequado.”*

SOUZA (2000) aconselha para a escolha dos sistemas de transporte vertical descartar escolhas inviáveis em razão da tecnologia construtiva adotada e elencar os sistemas com capacidade para suprir as demandas da obra, e recomenda estudar a capacidade dos sistemas (podendo-se utilizar como base os indicadores da Tabela 1) verificando se os transportes necessários numa fase crítica da obra “encaixam” no “cronograma semanal de uso do sistema de transportes”.

Tabela 1: Indicadores para avaliar a capacidade de um sistema de transportes (Fonte: BT177 PCC-USP)

EQUIPAMENTO	DURAÇÃO DE 1 CICLO	CAPACIDADE/CICLO
elevador de obras	5 minutos	0,25 m ³ de concreto
		1 m ² de alvenaria
		100 kg de aço
		0,13 m ³ de argamassa
grua	5 minutos	0,25 m ³ de argamassa
		0,5 m ³ de concreto
		8 m ² de alvenaria
		200 kg de aço

Os sistemas de transporte podem ser classificados em dois tipos: sistemas de movimento decomposto (onde as etapas do movimento são divididas em horizontal e vertical) e sistema não decomposto. Pode ser observado que, nos sistemas de movimento decomposto, geralmente o movimento vertical é realizado por equipamentos motorizados, devido à quantidade de energia necessária para realizar a movimentação, e o movimento horizontal é realizado com esforço humano.

i. Grua

A grua, ou guindaste de torre, é um equipamento de transporte com tipo de movimento não decomposto, caracterizada por uma lança (horizontal, inclinada ou articulada) que é suportada por uma estrutura metálica vertical denominada “torre”

(LICHTENSTEIN, 1987b). Dentre os tipos existentes, se destacam hoje no mercado a grua de torre estática com lança horizontal (Figura 17) e com lança móvel (Figura 18).

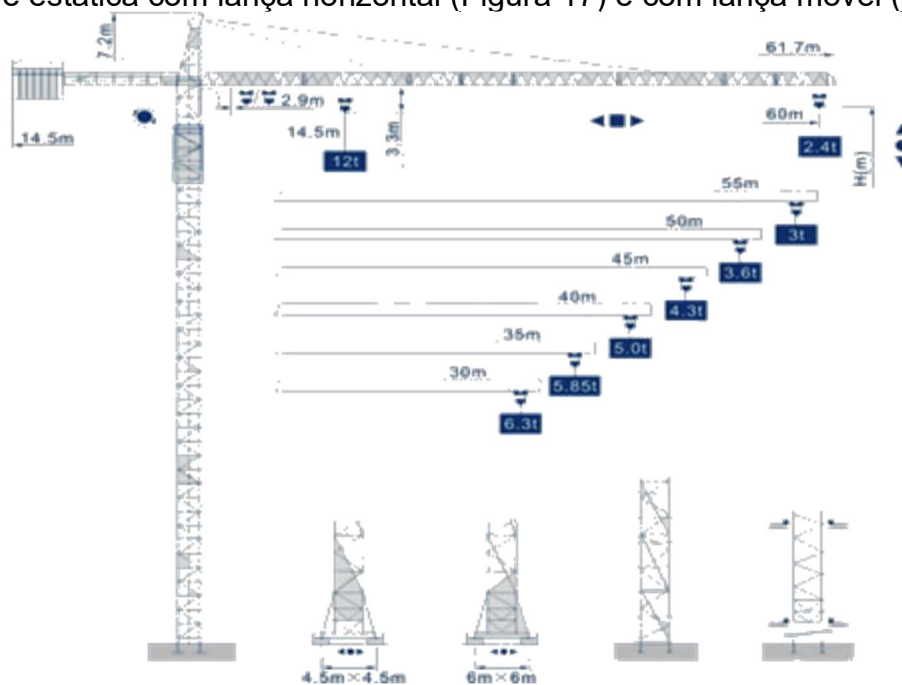


Figura 17:Grua de lança horizontal

(Fonte: <http://www.grumont.com.br/gruas-de-lanca-horizontal>, acesso em 24/11/19)

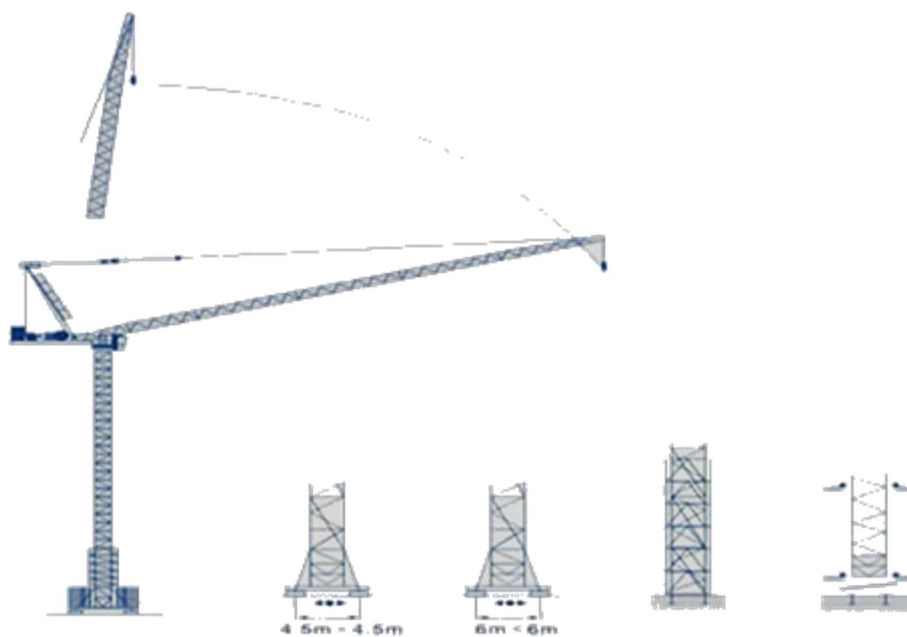


Figura 18: Grua de Lança Móvel

(Fonte: <http://www.grumont.com.br/gruas-de-lanca-movel>, acesso em 24/11/19)

A movimentação espacial das cargas utilizando a grua pode ser descrita a partir de 3 movimentos básicos que podem ser simultâneos, eles são: içamento vertical da carga, translação da carga ao longo da lança (no caso das guias de lança móvel, a translação da carga ao longo da lança ocorre com a rotação da lança em torno de um eixo horizontal perpendicular ao plano vertical formado por lança e torre, sendo esta uma movimentação mais lenta) e rotação da lança em torno do eixo da torre (LICHTENSTEIN, 1987b).

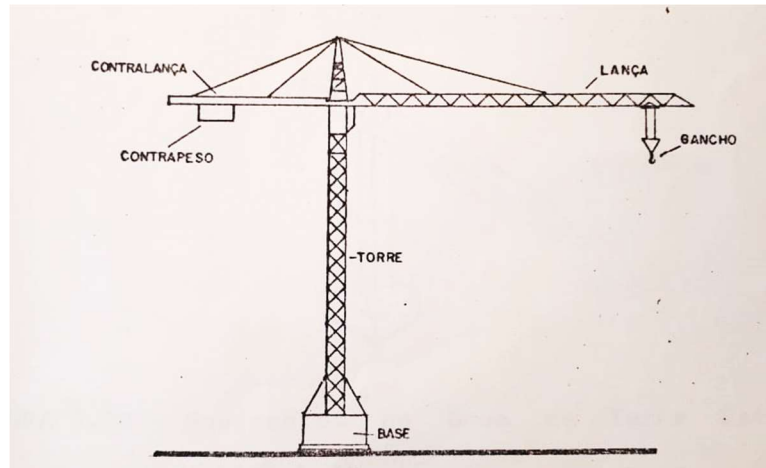


Figura 19: Detalhe de grua com lança horizontal e base fixa (Fonte: LICHTENSTEIN, 1987)

As guias também são caracterizadas pelo tipo de base, podendo esta ser fixa (Figura 19), ancorada diretamente em bloco de fundação, ascensional, onde o conjunto se apoia diretamente na estrutura (em vão do elevador ou da própria laje, conforme Figura 20), e é feita sua ascensão a cada determinado número de pavimentos, ou móvel sobre trilhos, onde todo o conjunto tem a possibilidade de transladar ao longo de um segmento (LICHTENSTEIN, 1987b). A Tabela 2, apresenta um comparativo elaborado por LICHTENSTEIN (1987) entre a utilização das guias estacionária e ascensional.



Figura 20: Grua com base do tipo ascensional (Fonte: SANTANA, 2018)

	GRUA ESTACIONÁRIA	GRUA ASCENSIONAL
Posição no canteiro	Deve ser prevista área de canteiro para a base da grua, o que, em terrenos pequenos, pode ser uma dificuldade	Não exige área do canteiro
Suporte da base	Bloco de concreto especialmente construído	Eventualmente pode ser apoiada, para a montagem inicial, em bloco de concreto da própria estrutura com possível reforço. Após o início da ascensão a base passa a ser apoiada na estrutura, gerando a necessidade de eventual reforço.
Montagem Inicial	Na montagem inicial é empregado normalmente um guindaste móvel	Idêntica.
Altura da Torre	Normalmente na montagem inicial a torre tem uma pequena altura. À medida do andamento da estrutura, a torre vai crescendo. O aumento da altura da torre pode ser realizada por, dependendo do modelo, acoplamento de novos módulos ou por um mecanismo de telescopagem, independentemente do andamento da estrutura. A altura total da torre é dada pela altura do edifício somada a uma altura livre pré-estabelecida de aproximadamente 6m.	A altura inicial da torre é idêntica à da correspondente grua estacionária. Com o andamento da estrutura a torre permanece a mesma, apenas o conjunto inteiro ascende. Com isto é reduzida a altura total necessária de torre com a contrapartida do custo do mecanismo ascensional. O ciclo ascensional deve ser compatível com o ciclo da construção da estrutura: qualquer quebra no mecanismo ascensional provoca atraso no cronograma da obra.
Estaiamento da torre	A torre é estaiada na estrutura conforme espaçamento recomendado pelo fabricante. O estaiamento, além do custo de estais e quadro, representa uma carga extra na estrutura o que, eventualmente, pode representar a necessidade de reforço.	Não é necessário.
Dimensão da lança	Estando locada fora da torre do edifício, normalmente está localizada fora do baricentro do canteiro, o que tende a gerar a necessidade de comprimentos maiores.	Podendo ser locada no corpo do edifício, está próxima do baricentro do terreno, o que tende a gerar comprimentos de lança menores
Operação	Quando montada a cabine na torre, lança ou contra-lança, normalmente é boa a visibilidade. Quando o operador está situado na laje, não existe diferença quanto ao tipo de grua.	Quando a cabine de comando é montada na lança, torre ou contra-lança, a visibilidade do operador é sensivelmente prejudicada.
Desmontagem	Processo de desmontagem exatamente inverso à montagem, realizando-se sem dificuldades. Desmontagem pode ser realizada ao final da obra, por interferir muito pouco com o andamento desta.	Processo de desmontagem muito dificultado, com lança e contra-lança tendo de ser apoiadas na última laje e descidas através de equipamento auxiliar. A laje de cobertura nesse caso deve prever este carregamento extra. No caso da grua ser montada no poço do elevador, normalmente sua desmontagem deve se dar antes da concretagem da caixa d'água e casa de máquinas. Isto leva à grua ser empregada apenas na fase da estrutura e, possivelmente, alvenaria da obra.

Tabela 2: Comparativo entre as guias estacionária e ascensional (LICHTENSTEIN, 1987b)

A utilização da grua na construção de edifícios de múltiplos andares com o Sistema de Construção Tradicional (pórtico tridimensional de concreto armado moldado

“in loco” e vedação externa em alvenaria) se dá na movimentação, comumente dos seguintes materiais:

- Concreto (estrutura)
Movimento do ponto de carregamento da caçamba até o ponto de aplicação;
- Aço (estrutura)
Dois movimentos: do pátio de descarga para o estoque; do pátio de armação para o ponto de aplicação;
- Blocos (alvenaria)
Dois movimentos: do ponto de descarga para o estoque; do estoque para o pavimento de utilização;
- Argamassa (alvenaria, contrapiso, revestimentos internos)
Movimento da central de argamassa até o pavimento de utilização
- Partes pré-moldadas/ pré-fabricadas (escada de emergência, por exemplo)
Movimento do estoque até o ponto de instalação

LICHTENSTEIN (1987) propõe para diversos tipos de movimentações (incluindo todas as citadas acima) formas de calcular o tempo de ocupação do equipamento, que, de forma geral, podem ser resumidas da seguinte maneira:

$$T_i = t_{cG} + 2 * t_{mG} + t_{dG} \quad (1)$$

Onde: T_i = tempo total de um ciclo de movimentação

t_{cG} = tempo de carregamento do material

t_{mG} = tempo de movimentação do ponto de carga ao ponto de descarga

t_{dG} = tempo de descarregamento do material

Podemos observar que t_{cG} e t_{dG} são característicos do material que está sendo transportado e da forma como está sendo feito o transporte, enquanto t_{mG} depende unicamente da trajetória pela qual o operador da grua leva a carga. O tempo de movimentação da carga (t_{mG}) é composto pelos tempos das três movimentações possíveis da grua e é calculado considerando um sistema de coordenadas polares com origem O do sistema na base da torre, tendo ponto de partida A (r_c , θ_c , z_c) e ponto de chegada B (r_i , θ_i , z_i)

$$t_r = \frac{\theta_i - \theta_c}{\omega} \quad (2)$$

$$t_t = \frac{r_i - r_c}{V_t} \quad (3)$$

$$t_i = \frac{z_i - z_c + 3}{V_i} \quad (4)$$

Onde:

t_r = tempo de rotação

t_i = tempo de içamento

t_t = tempo de translação

ω = velocidade angular da grua

V_t = velocidade de translação do
carrinho ao longo da lança

V_i = velocidade de içamento da
grua

É possível compor t_{mG} a partir dos tempos t_r , t_t e t_i de diversas formas visto que o operador pode realizar mais de um movimento simultaneamente. LICHTENSTEIN (1987) aponta diversas formas de compor o movimento em questão. Apesar disso, a forma mais conservadora e a favor da segurança seria a simples soma desses fatores, assim:

$$t_{mG} = t_r + t_t + t_i \quad (5)$$

Outra forma de compor este movimento, no caso de movimentos que tenham ponto de chegada na laje em execução, seria considerando que, se feito o içamento antes dos outros dois movimentos, é possível realizar a translação e rotação simultaneamente, assim:

$$t_{mG} = \max(t_r + t_t) + t_i \quad (5)$$

Uma questão importante quando da implantação da grua é o posicionamento dela no canteiro de obras. SOUZA (2000) recomenda o estudo da chamada “região possível” que é apresentada na Figura 21 e é a intersecção das áreas:

1. Que garantem o afastamento necessário dos edifícios vizinhos e não ultrapassem o limite de projeção na via pública (10m);
2. Que garantem que todos os pontos a serem servidos pela grua serão alcançados;
3. Que garantem que os pontos de carregamento da grua serão alcançados;

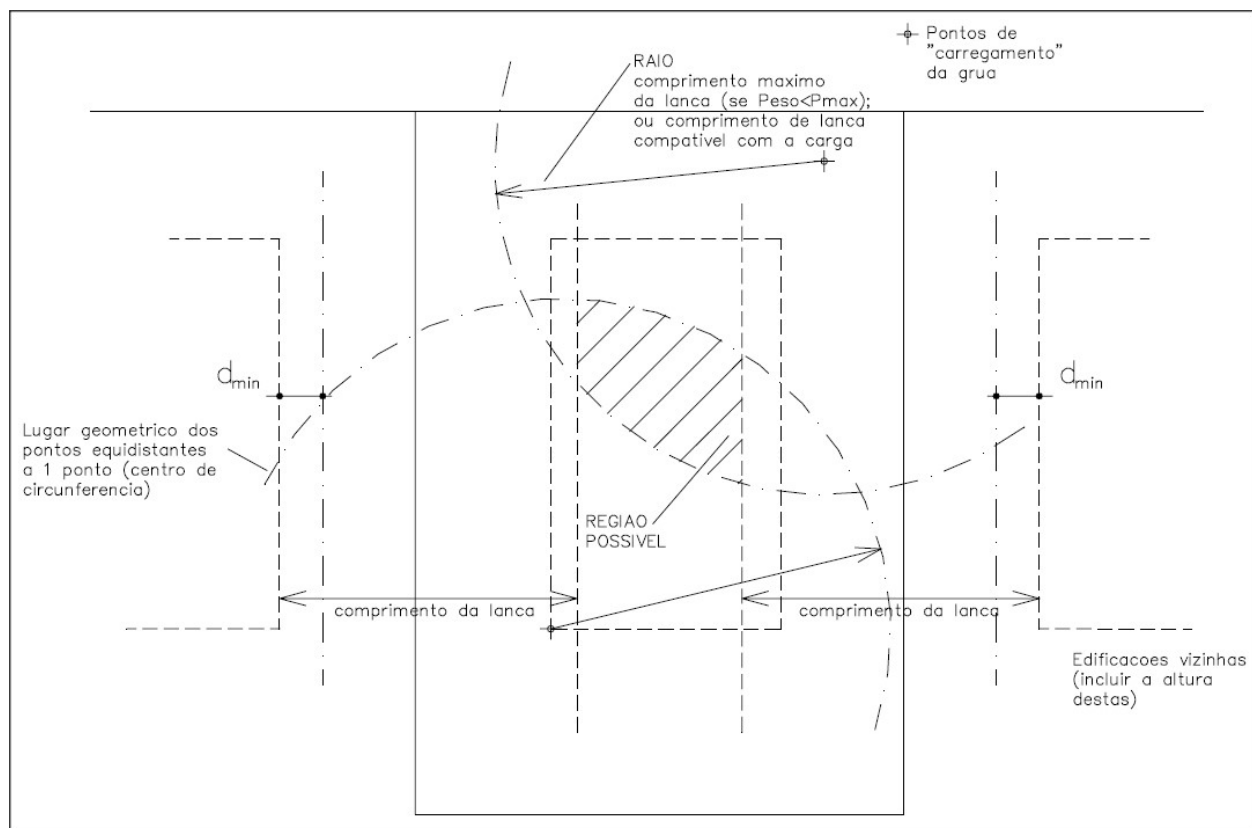


Figura 21: Considerações geométricas quanto ao posicionamento da grua (Fonte: Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP – BT1777, p.6)

Além disso, para o posicionamento da grua, deve-se considerar questões como, entre outras, a facilidade de montagem e desmontagem da grua, possível interferência na execução da estrutura e a posição mais adequada para as fundações da grua (SOUZA, 2000).

Para o transporte de determinados materiais podem ser utilizados acessórios específicos para grua que facilitam a operação com cargas, como os que seguem:



Figura 22: Garfo Paleteiro (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br)



Figura 23: Balde para concreto ou argamassa (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br)



Figura 24: Caçamba para entulho (Fonte: grupoconstrumaq.ind.br)

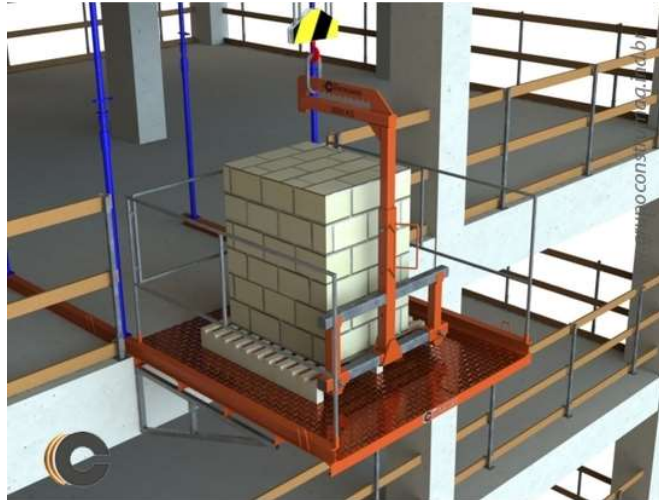


Figura 25: Plataforma de descarga (Fonte: construmaq.ind.br)

A NR-18 determina que, quando utilizada a grua em uma obra, deve ser elaborado um “Plano de Cargas” que deve conter, entre outros, dados da obra e dos responsáveis por ela, dados do equipamento, o responsável pela montagem e manutenção do equipamento, local de instalação da grua em croqui com outros elementos do canteiro especificados, possíveis interferências como redes elétricas, edificações vizinhas, além da projeção da área de cobertura da lança e contra-lança e projeção da área de abrangência das cargas com indicações dos trajetos.

ii. Minigrua

A minigrua (Figura 26) é um equipamento de transporte semelhante à grua ascensional, mas que possui uma lança de até 6 metros e capacidades de carga menores (da ordem de 500 a 750 kg), podendo ser assim caracterizada com um tipo de movimento decomposto vertical, diferente da grua, já que o pequeno alcance da lança torna indispensável a existência do movimento horizontal. Além disso, a minigrua não possui cabine, sendo assim operada remotamente. A modelagem de seu movimento pode ser feita de maneira semelhante ao que foi proposto para a grua, mas tendo-se em mente que, nesse caso, não existe o movimento de translação, pois não há carrinho.

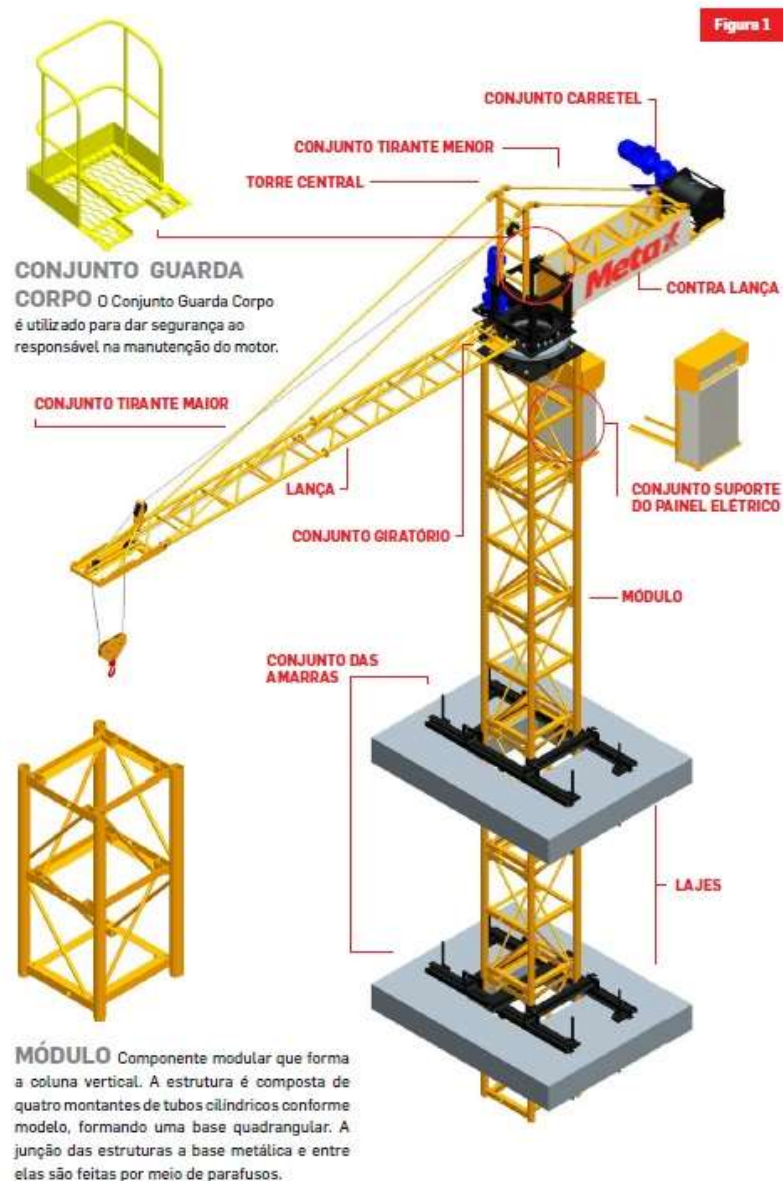


Figura 26: Detalhe de minigrua (Fonte: Metax)

iii. Elevador de Obra

Para posicionamento do elevador de cargas, SOUZA; FRANCO (1997) recomenda verificar:

- Distância ao recebimento, aos estoques, aos processamentos intermediários e aos “pontos de entrega”;
- Segurança quanto à queda de materiais;
- Minimização de interferências com outros serviços: paredes com instalações paredes ou com revestimentos cerâmicos;

- Uso de sacadas;
- Chegar em ambiente amplo;
- Localização do segundo elevador: próximo ou distante?
- Mudanças de canteiro e de materiais transportados ao longo da obra.

SAURIN; FORMOSO (2006), acrescentam que “*um possível inconveniente da colocação do elevador em frente a paredes cegas pode ser a existência de marcas no reboco da fachada, o que ocorre se este trecho for executado posteriormente ao restante do reboco da fachada*”. Além disso, recomendam que o elevador seja instalado o mais próximo possível do centro geométrico do pavimento tipo, para minimizar as distâncias de movimentação dentro desses pavimentos.

Os itens 18.14.21 a 23 da NR-18 lista requisitos na utilização de elevadores de obra, entre eles estão: a necessidade de contenções laterais nos lados em que não há carga ou descarga e portas ou painéis removíveis nos lados em que há carga ou descarga, obrigatoriedade de aterramento elétrico do equipamento e isolamento do posto de trabalho do operador do equipamento com barreira física, para permitir maior concentração do operador em seu trabalho e impedir que pessoas não autorizadas acionem o equipamento.

Uma forma geral de estimar o tempo de um ciclo de movimento no elevador é: (LICHTENSTEIN, 1987)

$$T_i = t_{cp} + t_{dp} + h\left(\frac{1}{v_{sub}} + \frac{1}{v_{desc}}\right) \quad (6)$$

Onde: t_{cp} = tempo de carregamento da plataforma

t_{dp} = tempo de descarregamento da plataforma

h = distância do movimento na vertical

v_{sub} = velocidade de subida do elevador

v_{desc} = velocidade de descida do elevador

3 Estudo de Caso

Neste capítulo será feito um estudo de caso para avaliar as opções de sistemas de transporte vertical em um empreendimento real. Na primeira parte o empreendimento e suas características são detalhados, assim como parte do trabalho que está sendo realizado na construtora, tanto em questão de projetos, quanto planejamento. Depois serão apresentados os fluxos dos processos a serem analisados, tendo em vista a avaliação dos sistemas de transportes. No terceiro momento, será apresentado o detalhamento das demandas de materiais e de mão de obra ao longo da execução do empreendimento, que também são fontes de informação para a avaliação dos sistemas de transporte da obra. Por fim, serão apresentadas três opções de sistemas de transporte que serão analisados quanto à capacidade para o transporte dos materiais (com a utilização de uma ferramenta criada para a modelagem dos movimentos verticais de materiais) e também questões técnicas e econômicas. Neste trabalho será alvo de estudo a fase da obra em que ocorrem simultaneamente a execução da estrutura, alvenaria e revestimentos argamassados internos (chapisco, emboço e contrapiso) que, como visto no capítulo anterior, é a fase em que ocorre maior demanda por transporte vertical de materiais (SOUZA, 2000).

3.1 Definições Preliminares (Coleta de Dados)

O empreendimento a ser estudado (Figura 27) é composto por dois subsolos, térreo com fachada ativa e duas torres de dezenove pavimentos cada, localizado na Vila Guarani, Zona Sul da cidade de São Paulo, em um terreno de 3320 m² (108 m de frente e, em média, 30,5 m de profundidade), mostrado na Figura 28.



Figura 27: Empreendimento estudado (Fonte: TARJAB)



Figura 28: Implantação do empreendimento (Fonte: TARJAB)

Os subsolos e parte do térreo servem de estacionamento para veículos, tanto para a parte residencial, quanto não-residencial do empreendimento. O térreo possui também por cinco lojas e uma praça entre as torres, que compõem a fachada ativa. A torre da esquerda (Torre T) possui 19 pavimentos tipo, exclusivamente residenciais. A torre da direita (Torre G) também é composta por 19 pavimentos, sendo que o primeiro serve de área de lazer para a parte residencial, do segundo ao quarto é composto por lajes corporativas, o quinto é residencial com apartamentos do tipo “Garden” (possuindo terraço) e do sexto ao décimo nono sendo residenciais tipo, idênticos aos da Torre T. As coberturas das torres também são semelhantes, possuindo dois reservatórios cada e áreas previstas para instalação de painéis solares. A Figura 29 esquematiza o empreendimento conforme o descrito.

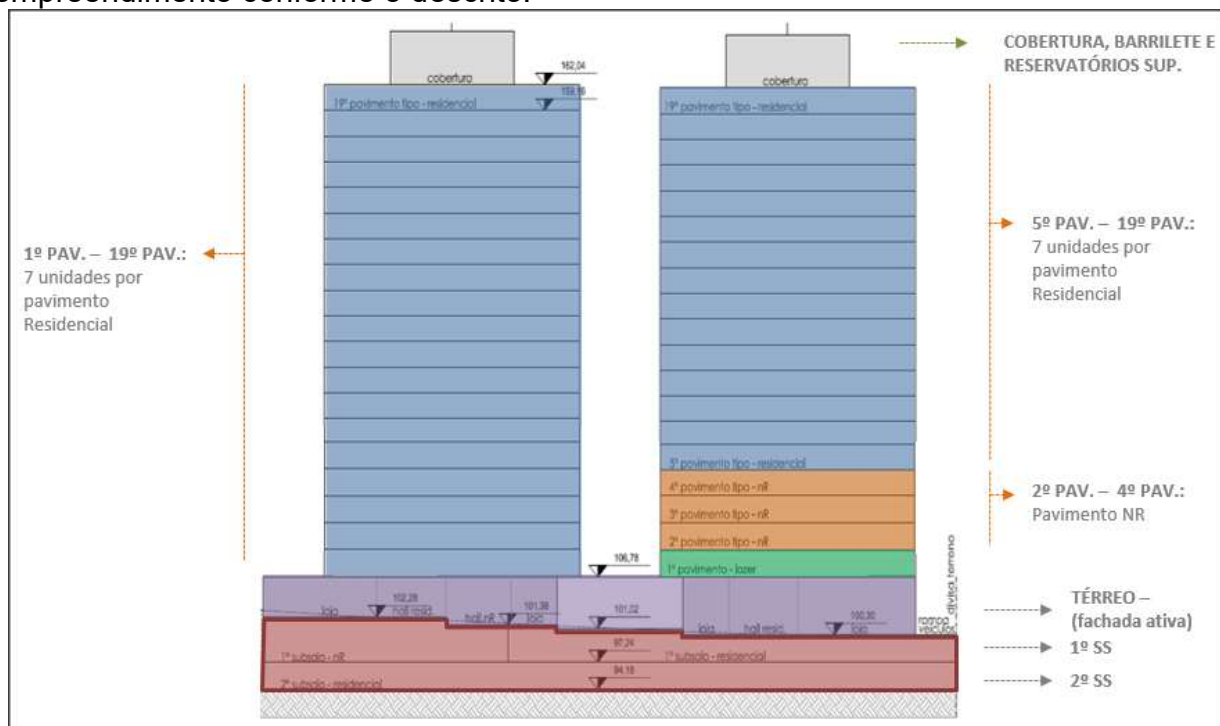


Figura 29: Corte esquemático do empreendimento (Fonte: TARJAB)

O plano de ataque da obra consiste na execução de contenção em parede diafragma por todo o perímetro do terreno, seguido pela escavação e simultâneo

atirantamento da contenção. A fundação em estacas hélice contínua será executada primeiramente na base da Torre T e depois na Torre G. Isso se deve ao fato de a rua ser inclinada, favorecendo a instalação da rampa de acesso aos equipamentos do lado direito do terreno (mesmo lado da torre G). Executadas as estacas e blocos de fundações, será feita a drenagem e executado o piso sobressolo (em duas partes, divididas por uma junta de dilatação que fica entre as duas torres). Após o piso sobressolo é dado início à estrutura em pórtico de concreto armado.

Tendo por base o prazo de 30 meses de obra e o plano de ataque descrito acima foi elaborado, pela Equipe de Planejamento da Construtora, um cronograma utilizando o método de Linhas de Balanço, ilustrado na Figura 30. Na representação os serviços que aparecem na cor roxa são da fachada e os que aparecem na cor preta são internos da torre (incluindo estrutura).

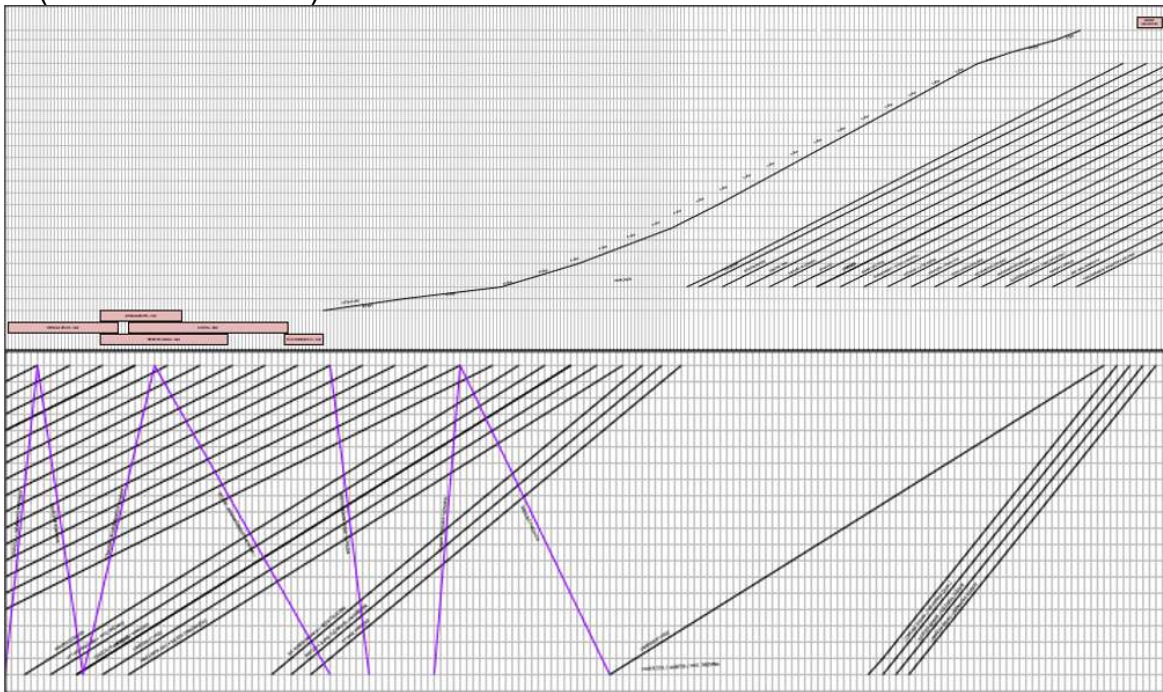


Figura 30: Cronograma em Linhas de Balanço. (Fonte: TARJAB)

O engenheiro responsável pela obra juntamente com a Equipe de Projetos da obra elaborou um projeto de canteiro preliminar (que identifica alguns dos principais elementos do canteiro a serem implantados. Cabe destacar neste projeto o posicionamento dos elevadores cremalheira na fachada posterior das torres, com acesso ao terraço dos apartamentos. Nesse caso, o elevador da Torre G atravessará a laje dos pavimentos 1 a 5 (lajes corporativas) que terão um vão a ser executado posteriormente à remoção do elevador. Além disso, está destacado na figura o posicionamento das paredes de concreto a serem executadas, que será alvo de discussão mais à frente.

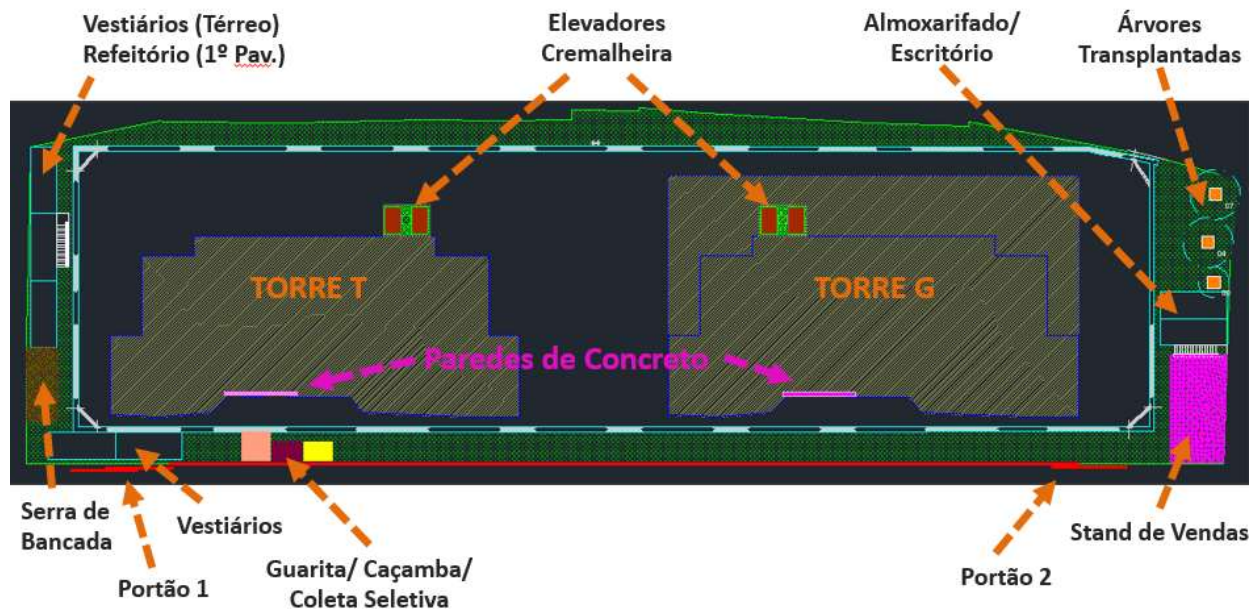


Figura 31: Projeto de Canteiro Preliminar (Fonte: TARJAB)

Para realização deste trabalho também serão utilizados os quantitativos levantados pela Equipe de Orçamento da Construtora, que se apresentam em diversos formatos. Na Figura 32 temos um exemplo do quantitativo da estrutura, levantado considerando as dimensões de projeto de cada elemento.


1			OBRA: EDIFÍCIO TANGRAM				DATA:
2			ASSUNTO: PILAR				Jul-19
3			Fck >= 40 Mpa				
4							
5			Dimensões				
6							
7							
742			TORRE G - 5º PAV - 142 EST PE X070 5 PV FOR R00				
743							
744							
745							
746							
747							
748							
749							
750							
751							
752							
753							
754							
755							
756							
757							
758							
759							
760							
761							
762							
763							
764							
765							

Figura 32: Levantamento Quantitativo da Estrutura (Fonte: TARJAB)

3.2 Detalhamento de Serviços

Para avaliar a interação entre os processos que compõem a produção, neste item são mapeados os fluxos atuais da Construtora, a serem analisados no estudo de

movimentação. Estes são: estrutura, alvenaria e revestimentos argamassados internos (chapisco, emboço e contrapiso). Os tipos de processos são representados conforme a Figura 33 e são semelhantes aos propostos por UBIRACI; FRANCO (1997).

Inspeção	■
Armazenamento	▼
Transporte	➡
Elaboração	●

Figura 33: Tipos de processos (Fonte: Ubiraci; Franco, 1997)

A Figura 34 apresenta o fluxo de processos da execução da estrutura em um pavimento tipo. É considerada aqui a execução quando a estrutura do pavimento “N” está sendo executada em ritmo constante de um pavimento por semana. Neste caso, a movimentação do escoramento permanente é determinada pelo tempo especificado pelo projetista da estrutura, conforme mostrado na Figura 35.

Usualmente na construtora, o aço é recebido em barras, então é cortado e dobrado em uma central, sendo a montagem feita totalmente no andar em execução. Existe a possibilidade de, no empreendimento em questão, a armadura chegue pré-montada à obra, visto que têm sido feitas experiências nesse sentido em outras obras. Este processo também depende do sistema de movimentação vertical, visto que, se for utilizada uma grua que alcance a totalidade da laje, seria possível a montagem direta da armação no arranque da estrutura. No caso da utilização da minigrua, ou uma grua que não alcance a laje inteira, a armadura dos pilares tem de ser levantada pelos próprios operários, o que limita o peso da armação possível de ser montada (sendo necessário, nesse caso, até separar a armação de pilares maiores, para que seja possível instalá-los).

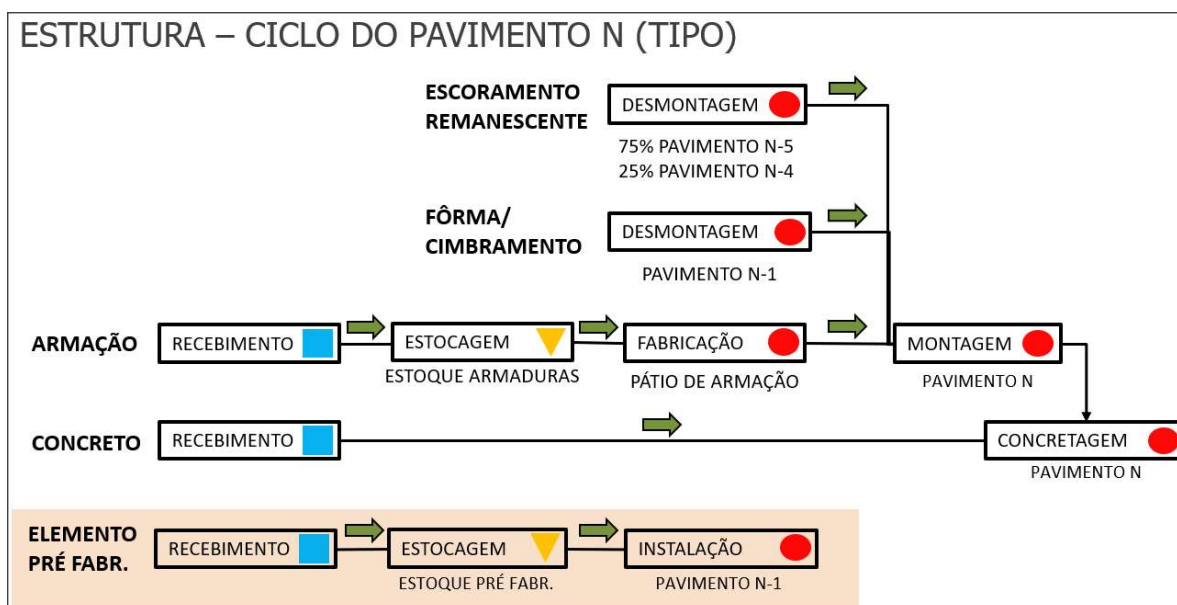


Figura 34: Fluxograma de processos da estrutura (Fonte: Autor)

Quanto à concretagem da estrutura, a construtora utiliza geralmente a bomba de concreto, mas, no estudo de movimentação que inclui a grua ascensional, será considerada a possibilidade da utilização da grua para este fim, analisando assim a viabilidade deste processo.

Além disso, o fluxograma apresenta, na região hachurada, a possibilidade de utilização de elementos pré-fabricados como, por exemplo, a escada de emergência, que será considerada somente quando o sistema de transporte conta com uma grua que alcance a região da escadaria. Serão considerados no estudo dois lances de escada por pavimento, por torre.

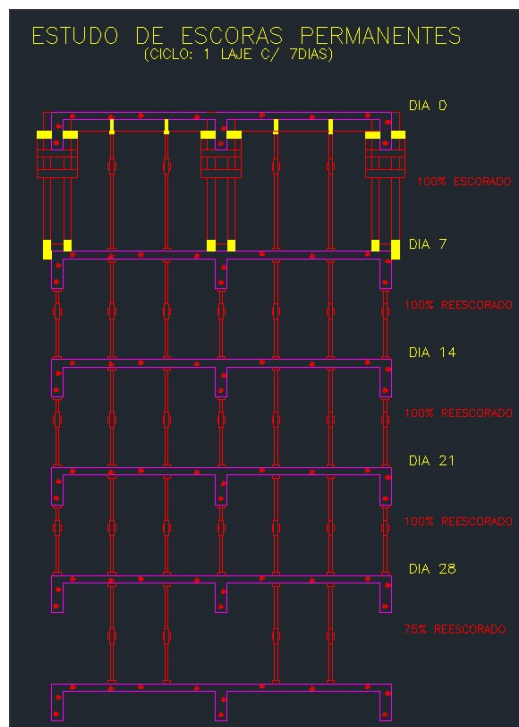


Figura 35: Estudo de escoras (Fonte: SVS Engenharia)

Na Figura 36 é apresentado o fluxograma de execução da alvenaria. Atualmente, as obras da construtora recebem os blocos em pallets que precisam ser desmontados manualmente em mini-pallets para movimentação, devido à capacidade do elevador de carga, processo este que pode ser considerado uma perda, segundo os estudos do capítulo anterior, por estar consumindo insumos (mão de obra para o transporte) e não estar agregando valor ao produto. Será considerado nos estudos que incluem guias a possibilidade de movimentar os pallets diretamente para o pavimento de execução do serviço, com o auxílio de plataforma como da Figura 25 do capítulo anterior.

A argamassa de assentamento e de fixação serão produzidas em obra, sendo a mistura realizada em argamassadeira localizada no pavimento onde está sendo executado o serviço.

Na Figura 37 é apresentado o fluxograma da execução dos revestimentos argamassados. Estes incluem: contrapiso, chapisco, emboço e revestimento da fachada. Neste trabalho não será discutida a execução da fachada, visto que esta é realizada, de acordo com o processo construtivo da Construtora, após a finalização da estrutura,

portanto os insumos são transportados pelo elevador de obras, já que a minigrua ou grua, já estaria desmobilizada.

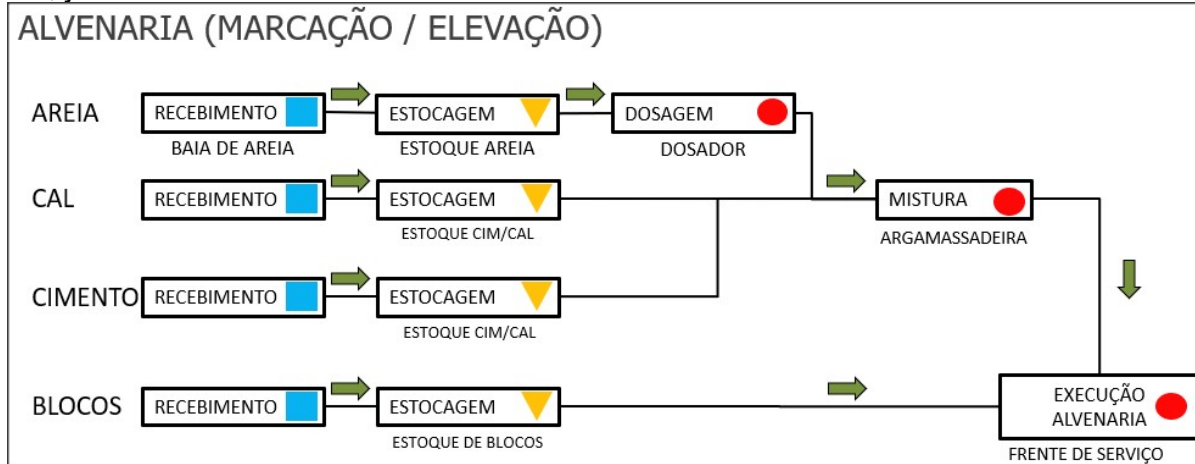


Figura 36: Fluxograma de execução de alvenaria (Fonte: Autor)

Assim como a argamassa de assentamento, os revestimentos argamassados são misturados a partir dos materiais necessários no pavimento em execução. Existe a possibilidade de utilização da argamassa industrializada em sacos que, como pode ser observado no fluxograma, diminuiria de forma considerável a quantidade de processos que não agregam valor ao produto final (como abordado do capítulo 2). Apesar disso, ao modelar especificamente o transporte vertical, não há grande diferença entre as duas opções, visto que a massa a ser transportada é aproximadamente a mesma.

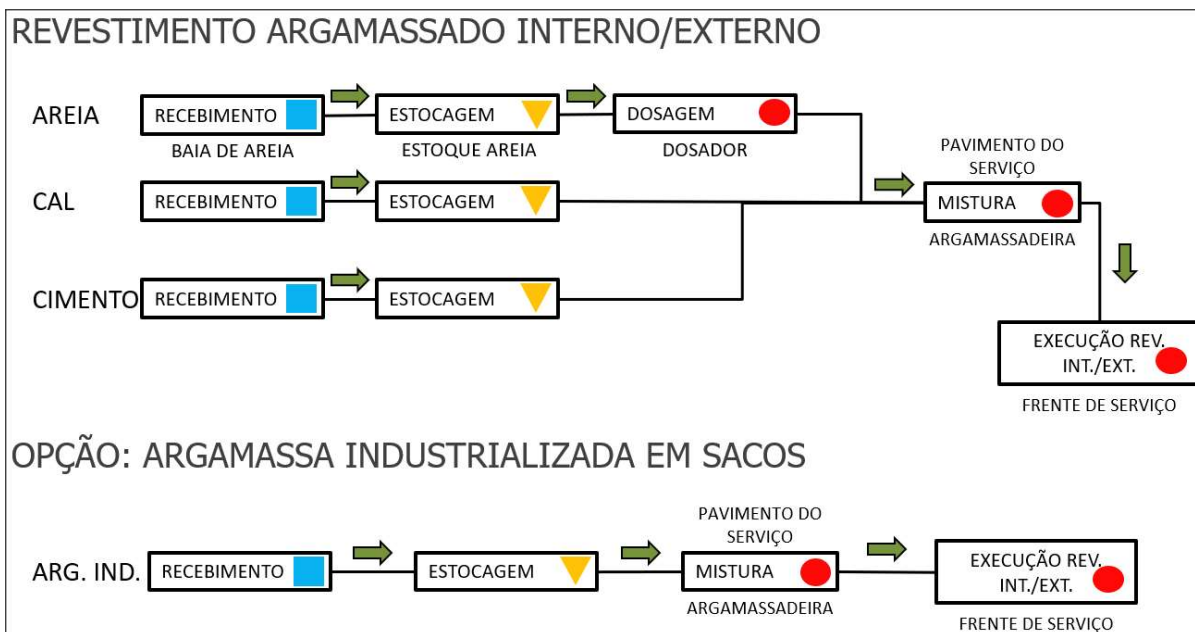


Figura 37: Fluxograma da execução de revestimentos argamassados (Fonte: Autor)

3.3 Demanda por Materiais

A partir do Levantamento Quantitativo, elaborado pela Área de Orçamento da Construtora, foram organizadas as quantidades dos principais materiais (os mais representativos em termos de massa) dos serviços a serem estudados na Tabela 3.

Quanto aos materiais da estrutura, a armação está separada em três partes. A primeira (“recebimento armação”) está relacionada com o recebimento da armação no canteiro, seja em barras ou como armadura pré-montada (como tem sido testado na construtora), a segunda e a terceira se referem às quantidades a serem transportadas aos pavimentos indicados para executar a estrutura, respectivamente, dos pilares e das vigas e lajes. As fôrmas estão separadas em duas partes (“pilares” e “vigas + lajes”) porém seu transporte será desconsiderado na modelagem pelo fato de ser feito de forma manual diretamente do pavimento executado anteriormente ao que está sendo executado e a modelagem seria de grande complexidade. O concreto está separado da mesma forma que as fôrmas devido ao momento de concretagem (no ciclo do pavimento tipo os pilares são concretados na segunda metade do terceiro dia e as vigas e lajes são concretadas ao longo do quinto dia). O transporte deste material será modelado somente na opção em que a grua ascensional é utilizada, para verificar a viabilidade da execução do serviço dessa forma. Além disso, na estrutura foram considerados movimentos para o recebimento e a instalação de escadas pré-fabricadas e também para o transporte do escoramento permanente do pavimento “n-5” ao pavimento em execução (“n”).

Os blocos de alvenaria foram levantados em pallets de 72 blocos (3C x 6L x 4H) para os blocos de 19 cm de largura e 96 blocos (3C x 6L x 4H) para os blocos de 14 cm de largura, de forma que ambos os pallets pesem aproximadamente 850 kg (considerando blocos de 12 kg). Esse peso do pallet foi delimitado considerando as restrições de carga do pavimento tipo. Os insumos para as argamassas consideram os materiais (areia, cimento e cal, quando utilizada) e os traços especificados para cada aplicação.

TORRE T																												
MATERIAL	SERVIÇO	UN	SS2	SS1	T	1º P	2º P	3º P	4º P	5º P	6º P	7º P	8º P	9º P	10º P	11º P	12º P	13º P	14º P	15º P	16º P	17º P	18º P	19º P	BARR + PLAT	CXD	TOTAL	
FÔRMA - PILARES	ESTRUTURA	KG		3993	8697	5518	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2765	2593	377	-	
RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ESTRUTURA	KG		23358	37941	24486	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	11198	12784	4403		
ARMAÇÃO - PILARES	ESTRUTURA	KG		6332	14523	8356	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3593	3372	408	97671	
ESCORAMENTO PERMANENTE	ESTRUTURA	UN			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
FORMA - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	KG		13200	12411	11748	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	5699	6465	3590	-	
CONCRETO - PILARES	ESTRUTURA	M3		55	126	72	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	4	846	
ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	KG		17026	23418	16130	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	7605	9412	3995	206873	
CONCRETO - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	M3		201	268	190	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	111	44	2481	
RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTRUTURA	UN		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		44	
ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTRUTURA	UN		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		44	
BLOCOS - ALVENARIA	ALVENARIA	PALLET	35	98	207	102	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	9	63	1324	
INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ALVENARIA	KG	7726	23330	49780	21991	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	1713	13618	286806	
INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ALVENARIA	KG	1293	3905	8333	3681	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	287	2279	48008	
INSUMOS ARGAMASSA CONTRAPISO	CONTRAPISO	KG	65707	11796	58536	29828	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	415	0	594807	
INSUMOS ARGAMASSA CHAPISCO	CHAPISCO	KG	8268	17291	14455	3199	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3199	3199	3117	22	103282
INSUMOS ARGAMASSA EMBOÇO	EMBOÇO	KG	1977	6913	22115	13008	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	13008	13008	0	0	111945	

TORRE G																												
MATERIAL	SERVIÇO	UN	SS2	SS1	T	1º P	2º P	3º P	4º P	5º P	6º P	7º P	8º P	9º P	10º P	11º P	12º P	13º P	14º P	15º P	16º P	17º P	18º P	19º P	BARR + PLAT	CXD	TOTAL	
FÔRMA - PILARES	ESTRUTURA	KG		2681	6286	7633	4393	4393	4393	4393	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2786	2593	397		
RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ESTRUTURA	KG		25772	39409	27613	18740	18740	18740	18740	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	11234	14078	4429		
ARMAÇÃO - PILARES	ESTRUTURA	KG		4442	10358	11548	6096	6096	6096	6096	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3633	3372	434	105405	
ESCORAMENTO PERMANENTE	ESTRUTURA	UN			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			
FORMA - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	KG		15518	15703	12737	8400	8400	8400	8400	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	5693	8450	3590	169299	
CONCRETO - PILARES	ESTRUTURA	M3		38	90	100	53	53	53	53	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	29	4	913	
ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	KG		21330	29051	16065	12644	12644	12644	12644	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	7601	10706	3995	238138	
CONCRETO - VIGAS+LAJES	ESTRUTURA	M3		247	326	189	156	156	156	156	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	128	44	2854	
RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTRUTURA	UN		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		44	
ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTRUTURA	UN		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		44	
BLOCOS - ALVENARIA	ALVENARIA	PALLET	35	98	207	102	50	50	50	50	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	9	63	1344	
INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ALVENARIA	KG	7726	23330	49780	21991	10581	10581	10581	10752	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	9369	1713	13618	291823	
INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ALVENARIA	KG	1293	3905	8333	3681	1771	1771	1771	1800	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	1568	287	2279	48848	
INSUMOS ARGAMASSA CONTRAPISO	CONTRAPISO	KG	65707	11796	58536	29828	34969	34969	34969	28682	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	23807	415	0	633167	
INSUMOS ARGAMASSA CHAPISCO	CHAPISCO	KG	8268	17291	14455	3199	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3158	3199	3199	3117	22	103282
INSUMOS ARGAMASSA EMBOÇO	EMBOÇO	KG	1977	6913	22115	13008	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	2620	13008	13008	0	0	111945

Tabela 3: Quantitativo Estimado por serviço por torre (Fonte: Autor)

Após a quantificação dos materiais por pavimento, foi elaborado o cronograma de materiais (Tabela 4), que relaciona a data de início das atividades com a quantidade de materiais do pavimento em que a atividade vai ser executada.

ARMAÇÃO - PILARES	29-10-20	11-11-20	19-11-20	26-11-20	03-12-20	10-12-20	17-12-20
ESTRUTURA 1º P TIPO TORRE T	8356						
ESTRUTURA 2º P TIPO TORRE T		3593					
ESTRUTURA 3º P TIPO TORRE T			3593				
ESTRUTURA 4º P TIPO TORRE T				3593			
ESTRUTURA 5º P TIPO TORRE T					3593		
ESTRUTURA 6º P TIPO TORRE T						3593	
ESTRUTURA 7º P TIPO TORRE T							3593

Tabela 4: Detalhe do Cronograma de Materiais

3.4 Demanda por mão-de-obra

Para obter o histograma da mão de obra durante a execução do empreendimento, foi alinhada com a Área de Suprimentos da Construtora uma estimativa da quantidade de operários necessária por serviço, por torre, que é apresentada na Tabela 5. A mão de obra está identificada da seguinte forma: carpinteiro com “c”, armador com “a”, pedreiro com “p”, servente com “s” e instalador com “i”.

SERVIÇO	MÃO DE OBRA	TOTAL (POR TORRE)
ESTRUTURA	13c + 13a	26
ALVENARIA	4p + 2s	6
REV. INTERNO	4p + 2s	6
ESQUADRIAS	5i	5
DRY WALL	3i por frente	9
CERÂMICA	3p + 1s	4
INST. HIDRÁULICAS	3i por frente	12
INST. ELÉTRICAS	3i por frente	12
PINTURA	10	10
REV. EXTERNO	1p/balancim + 1s a cada 2p	27

Tabela 5: Estimativa da mão de obra por serviço (Fonte: Autor)

A partir dos dados estimados na Tabela 5 e do cronograma físico da obra foi gerado o histograma da mão de obra por torre, apresentado no Gráfico 1. É possível observar que cada torre vai ter as maiores quantidades de operários em dois momentos: na fase final da estrutura (quando já estão sendo realizados diversos outros serviços no

corpo da torre) e inicial da fachada. O pico ocorre na Semana 94, no início da execução da fachada, quando na torre estão trabalhando 85 operários. No final da execução da estrutura estão trabalhando, em cada torre, cerca de 76 operários.



Gráfico 1: Histograma de mão de obra por torre (Fonte: Autor)

Levando em consideração a defasagem de execução entre as duas torres, foi elaborado o histograma do empreendimento como um todo, apresentado no Gráfico 2. O pico de mão de obra, no empreendimento como um todo, é de 159 operários e ocorre nas Semanas 100 a 101, quando está sendo executada a fachada em ambas as torres.

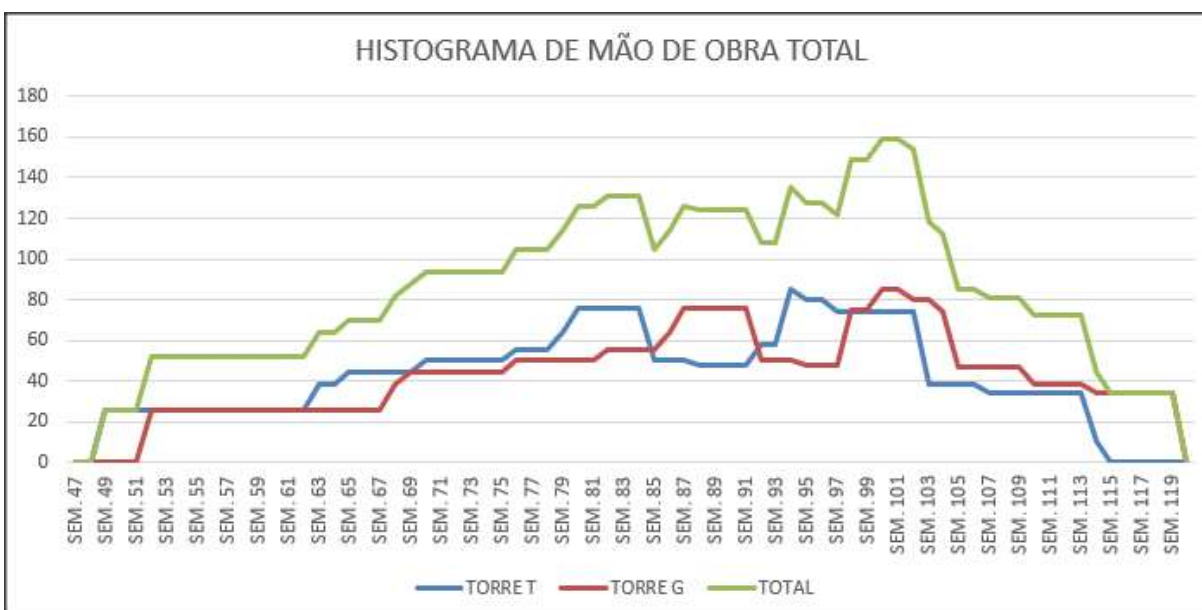


Gráfico 2: Histograma de mão de obra do empreendimento (Fonte: Autor)

3.5 Ferramenta de modelagem dos movimentos

Com o objetivo de avaliar a capacidade de transporte dos sistemas de transporte em termos de tempo gasto com as movimentações, foi elaborada uma ferramenta, programada na linguagem VBA, capaz de modelar os tempos de transporte dos materiais com a utilização da grua, minigrua e elevador de obras e organizar os movimentos de transporte semanalmente, de maneira que se possa observar quanto da capacidade de cada equipamento está sendo utilizada para tais transportes. Para alcançar este objetivo, a ferramenta precisa de informações de três fontes de dados, que já foram tratados neste capítulo: os quantitativos dos materiais a serem transportados, o cronograma de materiais e os transportes a serem analisados (a partir dos processos mapeados no item 3.2).

Para efeito de comparação entre os sistemas e diminuição da complexidade do trabalho, serão modelados somente os movimentos que não são comuns aos três sistemas como, por exemplo, o transporte de operários, que ocorre por meio do elevador de obra em todas as opções. A forma de funcionamento da ferramenta será explicada juntamente com a avaliação da primeira opção de sistema de transporte, no item a seguir.

3.6 Sistemas de Transporte

Neste item serão analisadas três diferentes opções de sistemas de transportes. A primeira será a forma padrão que a empresa construtora vem executando seus empreendimentos, que é com a utilização de minigrua, elevador cremalheira e bomba de concreto. A segunda opção de sistema de transporte é composta por uma única grua de torre fixa entre as duas torres do empreendimento, mais a bomba de concreto e o elevador cremalheira. A terceira e última opção é composta por duas guias ascensionais mais o elevador cremalheira, avaliando-se assim a possibilidade de execução da estrutura sem a bomba de concreto (para que esta opção seja viável economicamente, visto que a utilização de duas guias mais a bomba de concreto tornaria o sistema mais caro que o desejável). Os parâmetros considerados para a modelagem dos equipamentos são apresentados na As opções de sistemas de transportes (resumidas na Tabela 8) serão analisadas no item 3.6.4 segundo critérios técnicos e econômicos.

	GRUA	MINIGRUA
V ANGULAR (rpm)	0.7	1
V TRANSLAÇÃO (m/min)	65	-
V IÇAMENTO (m/min)	50	25

Tabela 6: Velocidades consideradas na modelagem da grua (Fonte: Autor)

	ELEVADOR CREMALHEIRA
V DESCIDA (m/s)	0.55
V SUBIDA (m/s)	0.45

Tabela 7: Velocidades consideradas na modelagem do elevador cremalheira (Fonte: Autor)

OPÇÃO 1	OPÇÃO 2	OPÇÃO 3
1 ELEVADOR CREMALHEIRA DUPLO POR TORRE	1 ELEVADOR CREMALHEIRA DUPLO POR TORRE	1 ELEVADOR CREMALHEIRA DUPLO POR TORRE
1 MINIGRUA POR TORRE	1 GRUA DE TORRE FIXA	2 GRUAS ASCENSIONAIS
BOMBA DE CONCRETO	BOMBA DE CONCRETO	

Tabela 8: Opções de sistemas de transporte a serem analisadas (Fonte: Autor)

3.6.1 Opção 1 – Mini gruas

A Opção 1 de sistema de transporte a ser analisada é composta pelos equipamentos utilizados já de forma rotineira nos últimos empreendimentos executados pela construtora e é composta por duas minigrua (uma em cada torre), bomba de concreto e o elevador cremalheira duplo. Nesse sistema temos as minigruas realizando o transporte das armaduras para o pavimento da estrutura em execução, a bomba de concreto sendo utilizada para concretagem de pilares vigas e lajes da estrutura e o elevador cremalheira realizando o transporte de todos os outros insumos, além da própria mão de obra, para as atividades sendo realizadas na torre.

O primeiro passo para a utilização da ferramenta é sintetizar os movimentos de materiais que serão analisados, atribuindo qual equipamento será utilizado pelo transporte e os locais de início e término de cada movimento. Além disso, devem ser atribuídos, levando em consideração o equipamento a ser utilizado, os tempos de carga e descarga de cada movimento e a quantidade de insumo que o equipamento comporta por ciclo de movimentação. A Tabela 9 mostra a síntese dos movimentos analisados para a opção 1 de sistema de transporte.

A partir da síntese dos movimentos, foi elaborado um layout simplificado do canteiro (Figura 38) com os elementos necessários para realizar a análise. No layout, temos a projeção da laje do piso do primeiro pavimento em azul, os elementos de canteiro locados no térreo (estoques e área de recebimento) em laranja e vermelho e, em verde os elementos do pavimento da estrutura em execução (área de descarga da minigrua).

Foram atribuídas então coordenadas a cada um desses elementos locados, considerando um sistema cartesiano com origem no canto esquerdo inferior do layout. As coordenadas estão apresentadas na Tabela 10.

Por fim, a ferramenta rastreia no cronograma de materiais (apresentado no Item 3.3) cada movimento, de cada dia, registrando na Agenda de Movimentos (Tabela 11) de acordo com a semana do movimento. Como resultado temos a descrição detalhada de cada material movimentado, incluindo local de início, local de chegada, quantidade total a ser transportada, equipamentos utilizados para o transporte, número de ciclos necessário para o transporte de todo o material, tempo estimado para um ciclo de movimento (modelado a partir das equações apresentadas no item 2.3.2.3) e o tempo total do transporte. Neste trabalho foram modelados somente os sistemas que incluem transporte vertical (elevador, minigrua e grua), portanto caso o transporte esteja considerando a utilização de equipamentos de transporte horizontal, como a paleteira, por exemplo, este movimento não está incluso no tempo total da movimentação. Além disso, nas opções 1 e 3 (das gruas ascensionais) as agendas de movimentos geradas consideram apenas uma das torres, devido a semelhança das atividades e da restrição dos equipamentos em executar transportes somente na torre em que estão instalados.

PROCESSO/ OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO UTILIZADO P/ TRANSPORTE	LOCAL DE INÍCIO / LOCAL DE PROCESSAMENTO	LOCAL DE CHEGADA	QUANT. /CICLO	UN.	T carreg (s)	T descarreg. (s)
MOVIMENTAÇÃO - ESCORAMENTO PERM.	ELEVADOR CREM.	PAVIMENTO N-5	FRENTE DE SERVIÇO - FÔRMA	15	UN	90	30
ESTOQUE	-	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	300	KG	90	30
MOVIMENTAÇÃO DE ARMADURAS	MINIGRUA	ESTOQUE DE AÇO	FRENTE DE SERVIÇO - ARMAÇÃO	300	KG	90	30
CONCRETAGEM - PILARES	BOMBA DE CONCRETO	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	PAVIMENTO DE CONCRETAGEM	-	M3	-	-
CONCRETAGEM - VIGAS E LAJES	BOMBA DE CONCRETO	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	PAVIMENTO DE CONCRETAGEM	-	M3	-	-
ESTOQUE	-	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	-	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	FRENTE DE SERVIÇO - ESCADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE BLOCOS	FRENTE DE SERVIÇO - ALVENARIA	1	PALLET	120	120
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CONTR	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - CONTRAPISO	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CHAP.	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - CHAPISCO	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. BEM	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - EMBOÇO	500	KG	60	60

Tabela 9: Síntese dos movimentos analisados na Opção 1 (Fonte: Autor)

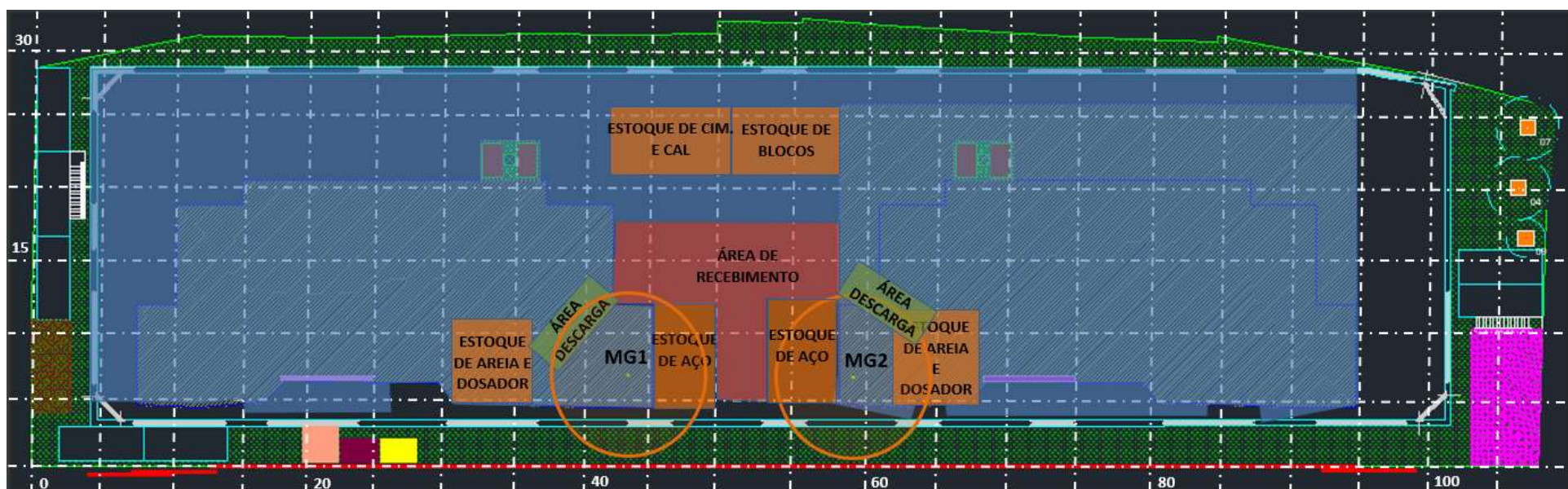


Figura 38: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 1 (Fonte: Autor)

LOCAIS DO CANTEIRO	X	Y	Z
ESTOQUE DE BLOCOS	57	23	0
ESTOQUE E DOSADOR DE AREIA	65	8	0
ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	62	22	0
ESTOQUE DE AÇO	54	7	0
MINIGRUA	59	7	0
ÁREA DE RECEBIMENTO	54	10	0
ÁREA DE DESCARGA - 1ª P - TORRE T	25	13	3

Tabela 10: Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro

SEMANA 30						DATA INÍCIO	17-05-21	DATA TÉRM.	21-05-21
DATA	MOVIMENTO	LOCAL INÍCIO	LOCAL FIM	QUANTIDADE	UN	EQUIP. UTIL.	MOV. ESTIM.	T ESTIM. (S)	T TOTAL (H)
17-05-21	ESCORAMENTO PERMANENTE	14ª P - TORRE G	19ª P - TORRE G	200	UN	ELEVADOR CREM.	14.0	180.0	0.7
17-05-21	ARMAÇÃO - PILARES	ESTOQUE DE AÇO	19ª P - TORRE G	3633	KG	MINIGRUA	13.0	562.1	2.0
17-05-21	CONCRETO - VIGAS+LAJES	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	19ª P - TORRE G	93	M3	BOMBA DE CONCRETO	0.0	-	-
17-05-21	RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	2	UN	-	2.0	-	-
17-05-21	ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	19ª P - TORRE G	2	UN	-	2.0	-	-
17-05-21	BLOCOS - ALVENARIA	ESTOQUE DE BLOCOS	13ª P - PLAT TORRE G	45	PALLET	ELEVADOR CREM.	45.0	396.0	5.0
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	12ª P - PLAT TORRE G	9369	KG	ELEVADOR CREM.	19.0	264.0	1.4
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	7ª P - PLAT TORRE G	1568	KG	ELEVADOR CREM.	4.0	204.0	0.2
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA CONTRAPISO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	10ª P - PLAT TORRE G	23807	KG	ELEVADOR CREM.	48.0	240.0	3.2
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA CHAPISCO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	4ª P - PLAT TORRE G	3158	KG	ELEVADOR CREM.	7.0	168.0	0.3
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA EMBOÇO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	3ª P - PLAT TORRE G	2620	KG	ELEVADOR CREM.	6.0	156.0	0.3
19-05-21	CONCRETO - PILARES	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	19ª P - TORRE G	31	M3	BOMBA DE CONCRETO	0.0	-	-
20-05-21	ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTOQUE DE AÇO	19ª P - TORRE G	7601	KG	MINIGRUA	26.0	562.1	4.1
21-05-21	RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	14078	KG	-	47.0	-	-

Tabela 11: Agenda de Movimentações da semana crítica (Fonte: Autor)

Em relação aos custos diretos da implantação da Opção 1, foi elaborada a tabela a seguir:

DESCRIÇÃO	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO
MINIGRUA (LOCAÇÃO POR 8 MESES CADA)	2	R\$ 20 000.00
OPERADOR DE MINIGRUA (EM MESES)	16	R\$ 3 665.00
TAXA DE BOMBEAMENTO DE CONCRETO (ESTRUTURA)	-	R\$ 229 000.00
TOTAL		R\$ 327 640.00

Tabela 12: Custo direto da implantação da opção 1 (Fonte: Autor)

No âmbito técnico, essa opção pode ser considerada como de baixo risco, por já se ter conhecimento consolidado na construtora do funcionamento de todos os equipamentos, porém esta não contempla a questão da execução das paredes de concreto aparente. Tais paredes serão executadas com concreto autoadensável devido à existência de uma janela em cada pavimento. Assim, para obter melhor acabamento final seria necessário utilizar fôrmas metálicas que, devido seu peso, necessitam de transporte com uso da grua.

3.6.2 Opção 2 – Grua de Torre Fixa

Na segunda opção de sistema de transporte temos uma grua de torre fixa, entre as duas torres, o elevador de obras e a bomba de concreto. Nesse caso, além do transporte da armação para a laje, tentou-se maximizar a utilização da grua para o transporte de materiais com o objetivo de diminuir a utilização do elevador obras para tal, deixando o livre por mais tempo para o transporte de operários e materiais utilizados em menores quantidades. Além disso, temos a possibilidade de incluir elementos pré-fabricados como a escada metálica que será considerada nesta análise.

Ao posicionar a grua para esta opção, diversas restrições foram encontradas, entre elas temos a existência de um edifício vizinho, o limite de projeção em via pública de 10 metros e a cota limite do Comar, a qual para ser ultrapassada necessita de autorização especial e, nesse caso, precisaria ser ultrapassada cerca de 4,5 metros para que a grua pudesse auxiliar a execução dos reservatórios. Essas restrições também impedem que a grua alcance as paredes de concreto em sua totalidade, o que impediria também a utilização de formas metálicas pesadas. Apesar de todas essas questões apresentadas, é possível utilizar a grua para execução da estrutura de ambas as torres até a altura do teto do último pavimento residencial, e essa possibilidade será aqui analisada.

Da mesma forma que na opção 1, foi feita a síntese dos movimentos, apresentada na Tabela 13 e, os elementos de canteiro foram locados para fazer a análise dos movimentos a serem realizados. Em relação ao layout apresentado na opção 1, as principais diferenças são a existência de um estoque para escadas pré-fabricadas (em roxo, por estar sobre a estrutura do primeiro pavimento) e a locação das plataformas para possibilitar o transporte dos pallets aos pavimentos em execução. Estas plataformas foram locadas em terraços, e de forma a tentar diminuir a trajetória do movimento dos pallets dos estoques de blocos até os pavimentos.

PROCESSO/ OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO UTILIZADO P/ TRANSPORTE	LOCAL DE INÍCIO / LOCAL DE PROCESSAMENTO	LOCAL DE CHEGADA	QUANT. /CICLO	UN.	T carreg (s)	T descarreg. (s)
MOVIMENTAÇÃO - ESCORAMENTO PERM. ESTOQUE	ELEVADOR CREM.	PAVIMENTO N-5	FRENTE DE SERVIÇO - FÔRMA	15	UN	90	30
MOVIMENTAÇÃO DE ARMADURAS	-	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	300	KG	90	30
CONCRETAGEM - PILARES	MINIGRUA	ESTOQUE DE AÇO	FRENTE DE SERVIÇO - ARMAÇÃO	300	KG	90	30
CONCRETAGEM - VIGAS E LAJES	BOMBA DE CONCRETO	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	PAVIMENTO DE CONCRETAGEM	-	M3	-	-
ESTOQUE	BOMBA DE CONCRETO	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	PAVIMENTO DE CONCRETAGEM	-	M3	-	-
MOVIMENTAÇÃO	-	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	-	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	FRENTE DE SERVIÇO - ESCADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE BLOCOS	FRENTE DE SERVIÇO - ALVENARIA	1	PALLET	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CONTR	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - CONTRAPISO	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CHAP.	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - CHAPISCO	500	KG	60	60
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. BEM	ELEVADOR CREM.	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	ARGAMASSADEIRA - EMBOÇO	500	KG	60	60

Tabela 13: Síntese dos movimentos analisados na Opção 2 (Fonte: Autor)



Tabela 14: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 2 (Fonte: Autor)

LOCAIS DO CANTEIRO	X	Y	Z
ESTOQUE DE BLOCOS	57	23	0
ESTOQUE DE AREIA	65	8	0
ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	62	22	0
ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	24	25	3
ESTOQUE DE AÇO	47	15	0
GRUA	47	20	0
ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	52	5	0

Tabela 15: Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro (Fonte: Autor)

SEMANA 23						DATA INÍCIO	29-03-21	DATA TÉRM.	02-04-21
DATA	MOVIMENTO	LOCAL INÍCIO	LOCAL FIM	QUANTIDADE	UN	EQUIP. UTIL.	MOV. ESTIM.	T ESTIM. (S)	T TOTAL (H)
29-03-21	RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	11198	KG	GRUA	19	243.2	1.28
29-03-21	CONCRETO - VIGAS+LAJES	BOMBA DE CONCRETO	18º P - TORRE T	93	M3	BOMBA DE CONCRETO	-	-	-
29-03-21	BLOCOS - ALVENARIA	ESTOQUE DE BLOCOS	12º P - PLAT TORRE T	45	PALLET	GRUA + PALLETEIRA	45	285.4	3.57
29-03-21	CONCRETO - PILARES	BOMBA DE CONCRETO	12º P - TORRE G	31	M3	BOMBA DE CONCRETO	-	-	-
30-03-21	ESCORAMENTO PERMANENTE	14º P - TORRE T	19º P - TORRE T	100	UN	GRUA	10	260.4	0.72
30-03-21	ARMAÇÃO - PILARES	ESTOQUE DE AÇO	19º P - TORRE T	3593	KG	GRUA	6	412.3	0.69
30-03-21	ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	18º P - TORRE T	2	UN	GRUA	2	979.8	0.54
30-03-21	INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	12º P - PLAT TORRE T	9369	KG	GRUA + PALLETEIRA	11	285.4	0.87
30-03-21	INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	7º P - PLAT TORRE T	1568	KG	GRUA + PALLETEIRA	2	249.4	0.14
30-03-21	INSUMOS ARGAMASSA CONTRAPISO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	10º P - PLAT TORRE T	23807	KG	GRUA + PALLETEIRA	27	271.0	2.03
30-03-21	INSUMOS ARGAMASSA CHAPISCO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	4º P - PLAT TORRE T	3158	KG	GRUA + PALLETEIRA	4	227.8	0.25
30-03-21	INSUMOS ARGAMASSA EMBOÇO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	3º P - PLAT TORRE T	2620	KG	GRUA + PALLETEIRA	3	220.6	0.18
30-03-21	ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTOQUE DE AÇO	12º P - TORRE G	7601	KG	GRUA	13	364.4	1.32
31-03-21	RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	11234	KG	GRUA	19	243.2	1.28
01-04-21	CONCRETO - PILARES	BOMBA DE CONCRETO	19º P - TORRE T	31	M3	BOMBA DE CONCRETO	-	-	-
01-04-21	RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	2	UN	GRUA	2	914.5	0.51
01-04-21	ESCORAMENTO PERMANENTE	8º P - TORRE G	13º P - TORRE G	100	UN	GRUA	10	260.4	0.72
01-04-21	ARMAÇÃO - PILARES	ESTOQUE DE AÇO	13º P - TORRE G	3633	KG	GRUA	7	371.6	0.72
01-04-21	CONCRETO - VIGAS+LAJES	BOMBA DE CONCRETO	13º P - TORRE G	93	M3	BOMBA DE CONCRETO	-	-	-
01-04-21	RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	2	UN	GRUA	2	914.5	0.51
01-04-21	ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	13º P - TORRE G	2	UN	GRUA	2	1014.3	0.56
01-04-21	BLOCOS - ALVENARIA	ESTOQUE DE BLOCOS	7º P - PLAT TORRE G	45	PALLET	GRUA + PALLETEIRA	45	241.3	3.02
01-04-21	INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	6º P - PLAT TORRE G	9369	KG	GRUA + PALLETEIRA	11	234.1	0.72
01-04-21	INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	2º P - PLAT TORRE G	1771	KG	GRUA + PALLETEIRA	2	205.3	0.11
02-04-21	ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTOQUE DE AÇO	19º P - TORRE T	7605	KG	GRUA	13	412.3	1.49

Tabela 16: Agenda de Movimentações da semana crítica na opção 2 (Fonte: Autor)

Em relação aos custos diretos da implantação da Opção 1, foi elaborada a tabela a seguir:

DESCRIÇÃO	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO
GRUA TORRE FIXA (LOCAÇÃO POR 10 MESES)	1	R\$ 250 000.00
EQUIPAMENTO PARA MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DA GRUA	1	R\$ 20 000.00
TAXA DE BOMBEAMENTO DE CONCRETO (ESTRUTURA)	-	R\$ 229 000.00
TOTAL		R\$ 499 000.00

Tabela 17: Custo direto da implantação da opção 2 (Fonte: Autor)

3.6.3 Opção 3 – Gruas Ascensionais

A terceira opção de sistema de transporte é composta por duas gruas ascensionais (uma por torre) mais um elevador cremalheira duplo por torre. Neste caso será avaliada a possibilidade de concretagem utilizando a grua que excluiria a necessidade de uso da bomba de concreto na maior parte da estrutura, tornando o custo competitivo com os demais sistemas.

O posicionamento da grua neste caso foi feito no vão de um dos elevadores e não sofreu com as mesmas restrições da opção anterior visto que a lança pode ser menor que a do caso anterior (20 metros nessa opção, em comparação com 28 metros da anterior) e, portanto, não se aproxima de edifícios vizinhos ou do limite de projeção em via pública. Além disso, a grua deve ser desmobilizada para a execução do reservatório superior, não ultrapassando então a cota de restrição do Comar.

Os elementos do canteiro foram dispostos conforme a Figura 39 para realização da modelagem dos movimentos. Nesse layout é possível observar que as áreas de carregamento da grua ficaram mais restritas, já que as lanças não alcançam completamente a região entre as torres. Dessa forma, os estoques foram separados para diminuir as distancias horizontais de movimentação. Além disso, as paredes de concreto ficaram próximas da torre da grua, gerando a possibilidade de transportar formas metálicas pesadas para a execução da mesma.

Da mesma forma que as opções anteriores, foram elaborados a síntese dos movimentos verticais (Tabela 18) e gerada a agenda de movimentos, tendo a agenda da semana crítica apresentada na Tabela 20.

Para a concretagem da laje utilizando a grua como equipamento de transporte, foi considerada uma caçamba de 750 litros e a modelagem da movimentação foi feita aproximando a laje a um retângulo de 16m x 32m, sendo que cada ciclo seria capaz de preencher uma área de 2m x 2m (estimativas feitas com base no quantitativo real). Importante observar que o resultado da modelagem para a laje do último pavimento aponta para um tempo total maior que 13 horas (ainda não considerando o fator de ineficiência). Esse dado aponta para uma possível necessidade de bombear o concreto para execução da estrutura.

PROCESSO/ OPERAÇÃO	EQUIPAMENTO UTILIZADO P/ TRANSPORTE	LOCAL DE INÍCIO / LOCAL DE PROCESSAMENTO	LOCAL DE CHEGADA	QUANT. /CICLO	UN.	T carreg (s)	T descarreg (s)
MOVIMENTAÇÃO - ESCORAMENTO PERM.	GRUA	PAVIMENTO N-5	FRENTE DE SERVIÇO - FÔRMA	10	UN	90	30
ESTOQUE	GRUA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	600	KG	90	30
MOVIMENTAÇÃO DE ARMADURAS	GRUA	ESTOQUE DE AÇO	FRENTE DE SERVIÇO - ARMAÇÃO	600	KG	90	30
CONCRETAGEM	GRUA	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	PAVIMENTO DE CONCRETAGEM	0.75	M3	60	90
ESTOQUE	GRUA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	FRENTE DE SERVIÇO - ESCADA	1	UN	120	600
MOVIMENTAÇÃO	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE BLOCOS	FRENTE DE SERVIÇO - ALVENARIA	1	PALLET	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	900	KG	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. ASSENT	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	ARGAMASSADEIRA - ALVENARIA	900	KG	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CONTR	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	ARGAMASSADEIRA - CONTRAPISO	900	KG	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. CHAP.	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	ARGAMASSADEIRA - CHAPISCO	900	KG	45	45
MOVIMENTAÇÃO - INSUMOS ARG. BEM	GRUA + PALLETEIRA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	ARGAMASSADEIRA - EMBOÇO	900	KG	45	45

Tabela 18: Síntese dos movimentos analisados na Opção 3 (Fonte: Autor)

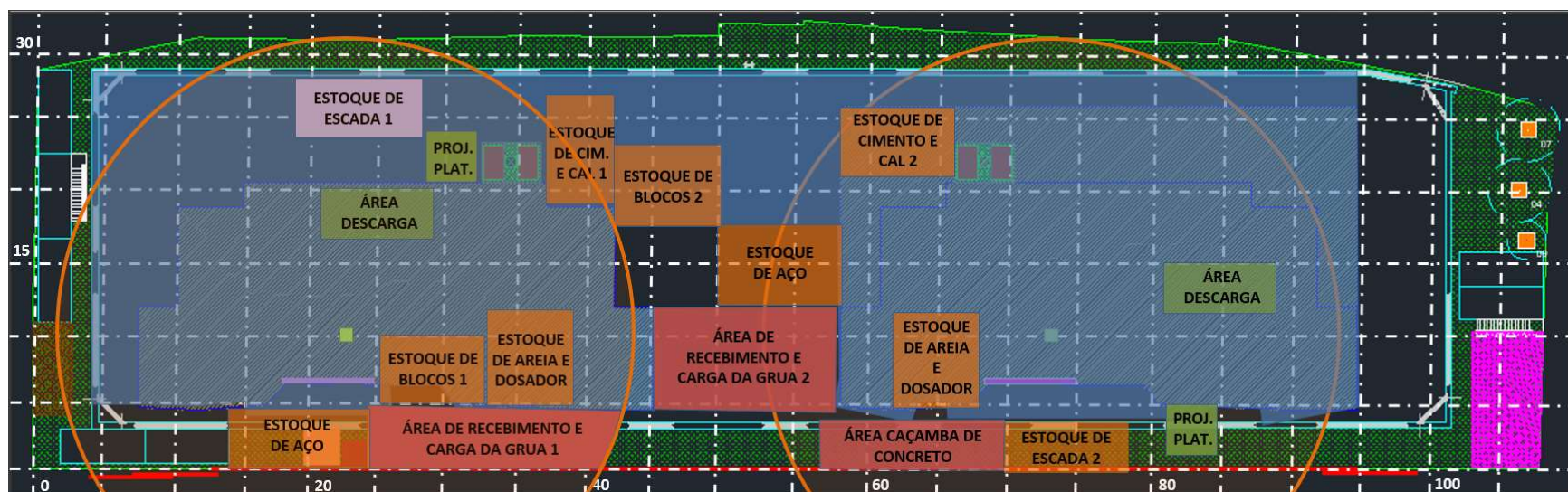


Figura 39: Locação dos elementos do canteiro para análise da Opção 3 (Fonte: Autor)

LOCAIS DO CANTEIRO	X	Y	Z
ESTOQUE DE BLOCOS	57	23	0
BAIA DE AREIA	65	8	0
DOSADOR DE AREIA	65	8	0
ESTOQUE DE CIMENTO E CAL EM SACOS	62	22	0
ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	24	25	3
ESTOQUE DE AÇO	55	15	0
GRUA	73	10	0
ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	54	10	0
ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	60	0	0

Tabela 19: Coordenadas atribuídas aos elementos do canteiro (Fonte: Autor)

SEMANA 30						DATA INÍCIO	17-05-21	DATA TÉRM.	21-05-21
DATA	MOVIMENTO	LOCAL INÍCIO	LOCAL FIM	QUANTIDADE	UN	EQUIP. UTIL.	MOV. ESTIM.	T ESTIM. (\$)	T TOTAL (H)
17-05-21	ESCORAMENTO PERMANENTE	14º P - TORRE G	19º P - TORRE G	100	UN	GRUA	10.0	260.4	0.7
17-05-21	ARMAÇÃO - PILARES	ESTOQUE DE AÇO	19º P - TORRE G	3633	KG	GRUA	7.0	394.5	0.8
17-05-21	CONCRETO - VIGAS+LAJES	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	19º P - TORRE G	93	M3	GRUA	124.0	381.9	13.2
17-05-21	RECEBIMENTO ESCADA PRÉ-FABRICADA	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	2	UN	GRUA	2.0	899.5	0.5
17-05-21	ESCADA PRÉ-FABRICADA	ESTOQUE DE ESCADA PRÉ FABRICADA	19º P - TORRE G	2	UN	GRUA	2.0	1046.7	0.6
17-05-21	BLOCOS - ALVENARIA	ESTOQUE DE BLOCOS	13º P - PLAT TORRE G	45	PALLET	GRUA + PALLETEIRA	45.0	318.3	4.0
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA ALVENARIA	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	12º P - PLAT TORRE G	9369	KG	GRUA + PALLETEIRA	11.0	311.1	1.0
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA FIXAÇÃO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	7º P - PLAT TORRE G	1568	KG	GRUA + PALLETEIRA	2.0	275.1	0.2
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA CONTRAPISO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	10º P - PLAT TORRE G	23807	KG	GRUA + PALLETEIRA	27.0	296.7	2.2
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA CHAPISCO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	4º P - PLAT TORRE G	3158	KG	GRUA + PALLETEIRA	4.0	253.5	0.3
17-05-21	INSUMOS ARGAMASSA EMBOÇO	ESTOQUE DE CIMENTO E CAL	3º P - PLAT TORRE G	2620	KG	GRUA + PALLETEIRA	3.0	246.3	0.2
19-05-21	CONCRETO - PILARES	ÁREA CAÇAMBA DE CONCRETO	19º P - TORRE G	31	M3	GRUA	42.0	381.9	4.5
20-05-21	ARMAÇÃO - VIGAS+LAJES	ESTOQUE DE AÇO	19º P - TORRE G	7601	KG	GRUA	13.0	394.5	1.4
21-05-21	RECEBIMENTO ARMAÇÃO	ÁREA DE RECEBIMENTO E CARGA DA GRUA	ESTOQUE DE AÇO	14078	KG	GRUA	24.0	232.1	1.5

Tabela 20: Agenda de Movimentações da semana crítica na opção 2 (Fonte: Autor)

Os custos diretos dessa opção são apresentados na Tabela 21 e incluem, além das gruas, o equipamento para mobilização e desmobilização que, para a retirada da grua, deve ser capaz de alcançar a mesma em sua altura final, fator que dificulta a desmobilização do equipamento.

DESCRIÇÃO	QUANT.	CUSTO UNITÁRIO
GRUA ASCENSIONAL (LOCAÇÃO POR 8 MESES CADA)	2	R\$ 250 000.00
EQUIPAMENTO PARA MOBILIZAÇÃO E DESMOBILIZAÇÃO DA GRUA	2	R\$ 35 000.00
TOTAL		R\$ 570 000.00

Tabela 21: Custo direto da implantação da opção 2 (Fonte: Autor)

3.6.4 Comparativo das Alternativas

A partir das agendas de movimento geradas para as três opções de sistema de transporte, as informações foram sintetizadas na Tabela 22, que apresenta a somatória dos tempos de movimentação acrescida de um fator de 30% de ineficiência. Foi calculada a capacidade utilizada com base em 44 horas de trabalho semanal (exceto para o elevador de obras que, devido ao fato do elevador ser duplo, foi utilizado o valor de 88 horas).

	OPÇÃO 1: MINIGRUAS		OPÇÃO 2: GRUA TORRE FIXA		OPÇÃO 3: GRUAS ASCENSIONAIS	
	T (h)	CAP. UTILIZADA	T (h)	CAP. UTILIZADA	T (h)	CAP. UTILIZADA
GRUA / MINIGRUA	7.9	18%	27.6	63%	40.3	96%
ELEVADOR DE OBRAS	14.4	16%	0	0%	0	0%

Tabela 22: Comparativo da capacidade utilizada dos equipamentos pelos serviços considerados acrescida 30% de ineficiência (Fonte: Autor)

É possível observar diretamente que as opções 2 e 3, por utilizar a grua para movimentação de insumos além da armação, diminuem a utilização do elevador de obras em 14.4 horas na semana crítica, o que torna o transporte de outros insumos e dos operários da obra mais eficiente, por terem maior disponibilidade do equipamento. Além disso, é importante observar que todas as movimentações propostas (inclusive a concretagem da estrutura pela grua ascensional) “cabem” no cronograma semanal, visto que a capacidade utilizada está abaixo de 100%. Por fim, é notável a baixa capacidade utilizada no caso da minigrua, possivelmente pelo fato de só transportar armações ou pela capacidade de transporte por ciclo ter sido superestimada.

Na Tabela 23 são comparados os custos diretos de implantação de cada uma das opções, sendo que a terceira opção é claramente a com maior custo mesmo não tendo considerado a utilização da bomba de concreto. Além disso, a diferença de custo entre a minigrua e as gruas é notável, visto que a mesma chega a custar menos de um décimo das gruas.

	CUSTO
1: MINIGRUAS	R\$ 327 640.00
2: GRUA TORRE FIXA	R\$ 499 000.00
3: GRUAS ASCENSIONAIS	R\$ 570 000.00

Tabela 23: Comparativo do custo direto das opções (Fonte: Autor)

Considerando todas as questões abordadas, foi montada uma matriz de decisão (Tabela 24) para avaliar, segundo critérios estabelecidos previamente e ponderando os critérios segundo o que a empresa considera valor, as opções de sistemas de transporte aqui propostas. Nesta tabela, os pesos e notas variam de 0 a 10, sendo que a nota mais alta sempre favorece a escolha do equipamento em relação aos demais.

O primeiro critério (dificuldade de implantação) diz respeito a dificuldade de mobilização e desmobilização dos equipamentos a serem utilizados pelo sistema. Neste caso, cabe destacar novamente a dificuldade em desmobilizar as guias ascensionais visto que precisam ser retiradas por guindaste diretamente do alto da torre.

O segundo critério (risco legal) diz respeito à questão da possibilidade de ultrapassar a cota estabelecida pelo Comar. Se for feita a opção pela guia de torre fixa, pode ser feito um pedido ao órgão para se ultrapassar temporariamente a restrição, porém não é certo que o pedido seja aceito. Assim, se correria o risco de a primeira torre a ser finalizada precisar esperar o término da estrutura da segunda para que fosse feita a desmobilização da guia e então pudesse ser dado prosseguimento na execução dos reservatórios superiores.

O terceiro critério diz respeito à possibilidade de utilizar as fôrmas que resultariam no melhor acabamento da parede de concreto, que são fôrmas metálicas pesadas (cerca de 2 toneladas cada componente), que precisam da guia para transporte. Nesse caso a guia ascensionais foi a única que atendeu 100% o critério. A opção da guia de torre fixa recebeu nota 5 por possibilitar o transporte de fôrmas metálicas leves (não ideais, porém satisfatórias segundo os critérios da Construtora).

O quarto critério se deve ao fato de a Construtora demonstrar o interesse em inovar seus próprios processos e descobrir as possibilidades na utilização da guia.

CRITÉRIOS	PESO	OPÇÃO 1: MINIGRUAS	OPÇÃO 2: GRUA TORRE FIXA	OPÇÃO 3: GRUAS ASCENSIONAIS
DIFICULDADE DE IMPLANTAÇÃO	3	10	8	3
RISCO LEGAL	3	10	5	10
PAREDE DE CONCRETO	2	0	5	10
APRENDIZADO	4	0	8	10
EFICIÊNCIA DO CANTEIRO	5	4	9	8
RISCO OPERACIONAL	3	3	6	8
CUSTO	10	10	7	6
MÉDIA PONDERADA		4.3	4.9	5.1

Tabela 24: Matriz de decisão das opções de sistema (Fonte: Autor)

O quinto critério sintetiza a possível melhora na eficiência do canteiro considerando toda a movimentação de materiais e operários. Neste caso a grua de torre fixa ficou com a melhor nota pela parte da capacidade ainda a ser explorada com o transporte de outros materiais (poderiam ser estudados aqui insumos para a execução de drywall e as esquadrias, por exemplo).

O sexto critério é o risco operacional e se refere ao impacto nas atividades em execução no caso de algum dos equipamentos não poder operar como, por exemplo, por quebra ou necessidade de manutenção preventiva.

O último critério é o custo que, neste caso, não tem o peso tão decisivo devido à existência de espaço no orçamento da obra para a utilização de qualquer das três opções. Dadas as notas para todos os sistemas, as que se destacam como melhores opções são a 2 e a 3.

4 Conclusão

A escolha de um sistema de transporte para um canteiro de obras não é uma questão que possui uma resposta certa ou única. Este trabalho demonstrou que as três opções de sistemas estudados seriam possíveis de ser utilizados e cada uma delas teria suas vantagens e desvantagens seja no âmbito técnico ou econômico. Ficou claro, através da modelagem dos movimentos, que a utilização da grua na obra causa uma dinâmica diferente na logística do canteiro, sendo necessário estudar os processos e adequá-los de maneira a obter o máximo do potencial do equipamento.

Pensando no estudo dos processos e operações do canteiro para maximizar a utilização da grua, foi importante ter estudado o pensamento enxuto e suas aplicações à construção civil por ter trazido a visão que busca a redução de desperdícios em cada uma das atividades realizadas na obra. Durante o mapeamento dos processos e análise dos movimentos de materiais foram observados diversos pontos de melhorias, tanto em questão de estoques que podem ser reduzidos, quanto operações que poderiam ser eliminadas na possibilidade da utilização da grua como, por exemplo, é o caso da movimentação de blocos através do elevador cremalheira, onde é necessário desmontar os pallets que chegam montados do fornecedor para o transporte, o que gera trabalho que não agrega valor ao produto.

O estudo do processo de projeto do canteiro mostrou a importância de analisar a relação entre os elementos que o compõem e também o próprio processo construtivo que será utilizado na produção do produto. Ao elaborar os layouts básicos para modelagem dos transportes ficou clara a importância deste estudo e como a iteratividade do processo deve ser levada em conta.

Por fim, temos que ambas as opções de sistemas que utilizam a grua foram mais bem avaliadas que a outra opção, principalmente devido às questões de melhoria da eficiência no canteiro. A opção que conta com guias ascensionais ficou com uma leve vantagem, principalmente considerado o risco legal que é muito menor para esta opção.

5 Bibliografia

AGUIAR, Gustavo dos Santos Guimarães de. **Inovação em logística de canteiro de obras na construção de edifícios**. Dissertação de Mestrado apresentada à EPUSP São Paulo, 2016.

BALLARD, Glenn; HOWELL, Greg. Implementing lean construction: stabilizing work flow. **Lean construction**, p. 101-110, 1994.

BALLARD, Herman Glenn. **The last planner system of production control**. 2000. Tese de Doutorado. University of Birmingham

CASTRO, Evandro Bustamante. **Planejamento e Controle de Produção de Obras com a Aplicação de Técnicas Baseadas na Filosofia Lean Construction**. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

DIEPENBRUCK, Thomas Martin. **Aprimoramentos do Sistema de Gestão da Produção em Empresa Construtora Utilizando Lean Thinking – Estudo de Caso**. Dissertação de mestrado apresentada à EPUSP. São Paulo, 2017.

ELIAS, Sérgio José Barbosa et al. Planejamento do layout de canteiros de obras: aplicação do SLP (Systematic layout planning). **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Niterói**, 1998.

FERREIRA, Emerson de Andrade Marques; FRANCO, Luiz Sérgio. **Metodologia para elaboração do projeto do canteiro de obras de edifícios**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/210). São Paulo, 1998.

FRANDSON, Adam. An Introduction to Takt Time Planning. **Lean Construction Blog**, 21 de Jul. de 2015. Disponível em: < <https://leanconstructionblog.com/Introduction-to-Takt-time-planning.html>>. Acesso em 21 de nov. de 2019.

HAGHSHENO, Shervin et al. History and theoretical foundations of takt planning and takt control. In: **Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC 24), Boston, MA, USA**. 2016. p. 20-22.

HENRICH, Guilherme; DOS SANTOS, Aguinaldo; KOSKELA, Lauri. TEORIA E MÉTODOS PARA GESTÃO DA PRODUÇÃO NA CONSTRUÇÃO. **XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, ENTAC**, 2006.

KENLEY, Russell; SEPPÄNEN, Olli. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control**. Routledge, 2006.

KOSKELA, Lauri. **Application of the new production philosophy to construction**. Stanford, CA: Stanford university, 1992.

KOSKELA, Lauri. **Making-do: The eighth category of waste**. Proceeding of the 12th Annual conference of the IGLC, Elsinore, pp.1-10, 2004.

LICHTENSTEIN, Norberto Blumenfeld. **Formulação de modelo para o dimensionamento do sistema de transporte em canteiro de obras de edifícios de múltiplos andares**. Tese de doutorado apresentada à EPUSP. São Paulo: PCC-EPUSP, 1987. 286p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR-18: Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção**. Brasília, 2018. 68p.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção além da produção**. Bookman, 1997

RONEN, Boaz. The complete kit concept. **The International Journal of Production Research**, v. 30, n. 10, p. 2457-2466, 1992

SAURIN, Tarcisio Abreu; FORMOSO, Carlos Torres. **Planejamento de canteiros de obra e gestão de processos**. ANTAC, 2006

SEPPÄNEN, Olli; BALLARD, Glenn; PESONEN, Sakari. The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. **Lean construction journal**, 2010.

SEPPÄNEN, Olli. Introduction to Location Based Management System: CPM on Steroids Combined with Flowline Visualization. **Lean Construction Blog**, 9 de mar. de 2016. Disponível em: < <https://leanconstructionblog.com/Location-Based-Management-System-CPM-on-steroids-combined-with-flowline-visualization.html>>. Acesso em 20 de nov. de 2019.

SILVA, Fred B.; CARDOSO, Francisco Ferreira. A importância da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios. **Qualidade no processo construtivo: anais do ENTAC 98**, 1998.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; FRANCO, Luiz Sérgio. **Subsídios para a opção entre: elevador ou grua, andaime fachadeiro ou balancim, argamassa industrializada ou produzida em obra**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/176). São Paulo, 1997.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; FRANCO, Luiz Sérgio. **Definição do Layout do Canteiro de Obras**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/177). São Paulo, 1997.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; FRANCO, Luiz Sérgio; PALIARI, José Carlos Paliari. **Recomendações Gerais Quanto à Localização e Tamanho dos Elementos do Canteiro de Obras**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/178). São Paulo, 1997.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes. **Projeto e implantação do canteiro**. O Nome da Rosa, 2000.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes; ARAÚJO, Luís Otávio Cocito de. **“Do Construction” – Uma abordagem de gestão fundamentada no uso de indicadores**. IV Sibragec Porto Alegre - Brasil, 2005.