

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

FRANCISCO REINERT ADELL PÉRICAS

**LINHA DE BALANCEAMENTO COMO POTENCIALIZADORA
DA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA *LEAN*
CONSTRUCTION: ESTUDO DE CASO**

**FLORIANÓPOLIS
2023**

Francisco Reinert Adell Péricas

**LINHA DE BALANCEAMENTO COMO POTENCIALIZADORA
DA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA *LEAN*
CONSTRUCTION: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do diploma de graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Professora Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.

Florianópolis
2023

Francisco Reinert Adell Péricas

**LINHA DE BALANCEAMENTO COMO POTENCIALIZADORA
DA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA *LEAN*
CONSTRUCTION: ESTUDO DE CASO**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “bacharel em Engenharia Civil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil

Florianópolis, 02 de junho de 2023

Profa. Liane Ramos da Silva, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Professora Cristine do Nascimento Mutti, Ph.D.
Orientadora

Professora Fernanda Fernandes Marchiori, Dra.
Banca Examinadora

Engenheiro Renan Pittigliani
Banca Examinadora

À Cynara, a pessoa mais forte que conheço.

"The greatest reward for our devotion is not what we get from it, but who we become through it." - John Wooden.

RESUMO

A construção civil tem papel socioeconômico fundamental no Brasil. Apesar da notória importância, esse setor apresenta baixa produtividade e tem a geração de desperdícios como característica marcante. Neste sentido, o presente trabalho contextualiza a *Lean Construction*, adaptação da filosofia *Lean* para a construção civil, como uma possível solução para aumentar a eficiência do setor, visto que os princípios desta filosofia se baseiam na redução de desperdícios. Entretanto, parte do motivo pelo qual a construção civil encontra-se no estado de baixa produtividade atual é a dificuldade de se desprender de técnicas ultrapassadas, que impedem a sua evolução – o setor apresenta resistência cultural a inovações que mudam a rotina de obra. Assim, fazem-se necessárias ferramentas e práticas que auxiliem na disseminação desta filosofia no cenário brasileiro da construção civil. Sob esta óptica, o presente trabalho propõe o método de planejamento da Linha de Balanceamento como potencializadora da implantação dos princípios da *Lean Construction*. Para isto, foi utilizada a estratégia de pesquisa estudo de caso. Primeiramente foi feita uma revisão acerca dos conceitos de *Lean*, *Lean Construction* e Linha de Balanceamento, que são essenciais para o completo entendimento do trabalho. Em seguida foi realizado o estudo de caso, o qual abordou uma construtora brasileira que substituiu o método de planejamento que utilizava desde a sua fundação pela Linha de Balanceamento e em seguida contratou uma consultoria com o intuito de aprender sobre a filosofia *Lean* e aplicá-la em uma de suas obras. Com o estudo, foi possível identificar a implementação de diversos princípios da *Lean Construction* no planejamento da empresa mesmo antes da consultoria, resultado da adoção da Linha de Balanceamento. Assim, foi possível concluir que a Linha de Balanceamento pode ser utilizada para disseminar a *Lean Construction* no Brasil, visto que detém diversos dos seus princípios.

Palavras-chave: construção civil, *Lean Construction*, Linha de Balanceamento.

ABSTRACT

Civil construction plays a fundamental socio-economic role in Brazil. Despite its notable importance, this sector exhibits low productivity and is characterized by waste generation. In this sense, the present study contextualizes Lean Construction, an adaptation of the Lean philosophy for the construction industry, as a possible solution to increase the sectors efficiency, as the principles of this philosophy are based on waste reduction. However, part of the reason why civil construction is currently in a state of low productivity is the difficulty in letting go of outdated techniques that hinder its evolution - the sector demonstrates cultural resistance to innovations that change the construction routine. Therefore, tools and practices are necessary to disseminate this philosophy in the Brazilian construction scenario. From this perspective, this study proposes the Line of Balance planning method as a solution for this purpose. The case study research strategy was used. First, a review was conducted on the concepts of Lean, Lean Construction, and Line of Balance, which are essential for a complete understanding of the work. Then, the case study was carried out, which focused on a Brazilian construction company that replaced the planning method it had been using since its foundation with the Line of Balance and subsequently hired a consultancy to learn about the Lean philosophy and apply it to one of its projects. Through the study, it was possible to identify the implementation of several Lean Construction principles in the company's planning even before the consultancy, as a result of adopting the Line of Balance. Thus, it was concluded that the Line of Balance can be used to disseminate Lean Construction in Brazil, as it embodies several of its principles.

Keywords: civil construction, Lean Construction, Line of Balance.

Lista de Figuras

Figura 1 - Casa STP.....	24
Figura 2 - Eixos na LOB	28
Figura 3 - Atividades no Cronograma	29
Figura 4 - Atividade com variabilidade.....	32
Figura 5 - Atividade pós eliminação da variabilidade.....	32
Figura 6 - Cronograma complexo.....	33
Figura 7 - Cronograma pacotizado.	33
Figura 8 - Fluxo não contínuo de atividades	34
Figura 9 - Fluxo contínuo	34
Figura 10 - Fluxograma das etapas para a realização do estudo	37
Figura 11 - Fluxograma dos cenários da empresa	39
Figura 12 - Gantt completo da obra.....	41
Figura 13 - Gantt ampliado para melhor visualização.....	42
Figura 14 - Planilha completa do mês 19	42
Figura 15 - Planilha do mês 19.....	43
Figura 16 – Projeto 1, fase 1 – LOB.....	44
Figura 17 - Projeto 1, fase 1 – Descontinuidade de fluxo e ritmos despadronizados.....	44
Figura 18 - Projeto 2, fase 1 - LOB	45
Figura 19 - Projeto 2, fase 1 – Descontinuidade de fluxo e ritmos não padronizados ...	45
Figura 20 - Projeto 2, fase 1 – Complexidade do projeto.....	46
Figura 21 - Projeto 1, fase 2 - LOB	47
Figura 22 - Projeto 1, fase 2 – Complexidade elevada do projeto.....	47
Figura 23 - Projeto 1, fase 2 – Descontinuidade de fluxo e ritmos não padronizados ...	48
Figura 24 - Projeto 2, fase 2 - LOB	49
Figura 25 - Projeto 2, fase 2 - Continuidade de fluxo e complexidade elevada do projeto	49
Figura 26 - Projeto 2, fase 2 - Descontinuidade de fluxo	50
Figura 27 - Projeto 1, fase 3 - LOB	51
Figura 28 - Projeto 1, fase 3 - Continuidade de fluxo	51
Figura 29 - Projeto 1, fase 3 – Complexidade elevada do projeto.....	52
Figura 30 - Projeto 2, fase 3 - LOB	53

Figura 31 - Projeto 2, fase 3 - Continuidade de fluxo	53
Figura 32 - Projeto 2, fase 3 - Folga por falta de frente de trabalho.....	54
Figura 33 - Projeto 1, fase 4 - LOB	55
Figura 34 - Projeto 1, fase 4 - Fluxo contínuo com takt padronizado	56
Figura 35 - Projeto 2, fase 4 - LOB	56
Figura 36 - Projeto 2, fase 4 - Continuidade de fluxo e padronização do takt	57
Figura 37 - Central de aço antes das alterações.....	59
Figura 38 - Central de aço após as alterações.....	59
Figura 39 - Almoxarifado antes das mudanças	60
Figura 40 - Almoxarifado após as mudanças	61
Figura 41 - trajetos inadequados.....	62
Figura 42 - Trajetos após as melhorias	62
Figura 43 - aduelas após a drenagem externa.....	63
Figura 44 - aduelas reorganizadas	63
Figura 45 - sala de reuniões apenas para os gestores	65
Figura 46 - reunião aberta a todos	65
Figura 47 - pacotização, exemplo 1	66
Figura 48 - pacotização, exemplo 2.....	66
Figura 49 - nova vinculação de atividades	67
Figura 50 - LOB Lean	67
Figura 51 - LOB anterior ao Lean	67

Lista de Quadros

Quadro 1 - Produção em massa e Lean Thinking.....	25
Quadro 2 - Princípios Lean na LOB	58

Lista de Equações

Equação 1 – Duração Total	29
Equação 2 – Tempo Base	30
Equação 3 – Ritmo de Construção	30
Equação 4 – Total de Horas.....	30
Equação 5 – Duração da atividade	30
Equação 6 – Duração por jornada de trabalho.....	30
Equações 7 e 8 – Número de equipes	30
Equação 9 – Duração total da atividade repetida	31

Lista de Abreviaturas e Siglas

PERT – Técnica de avaliação e revisão de programas

CPM – Método do caminho crítico

LOB – Linha de Balanceamento

JIT – *Just-in-time*

PDCA – Planejar; Fazer; Conferir; Agir.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Geral	18
1.2.2 Específicos.....	18
1.3 Limitações e delimitações	18
1.4 Estrutura do trabalho	18
2. REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1 Planejamento.....	20
2.2 <i>Lean</i>	21
2.3 <i>Lean Construction</i>	26
2.4 Método da Linha de Balanceamento	27
2.4.1 Requisitos para a utilização da Linha de Balanceamento	29
2.5 Relação entre a Linha de Balanceamento e <i>Lean Construction</i>	31
3. MÉTODO	36
3.1 Método adotado	36
3.2 Estratégia adotada.....	36
4. ESTUDO DE CASO	38
4.1 A empresa.....	38
4.2 O estudo	38
4.2.1 Cenário 1	39
4.2.2 Cenário 2	43
4.2.3 Cenário 3	58

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
5.1 Conclusões.....	69
5.2 Sugestão para trabalhos futuros.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A construção civil, como instrumento simultaneamente provedor de moradia e gerador de empregos, está intrinsecamente relacionada com aspectos essenciais para a qualidade de vida da população e o desenvolvimento econômico. No ano de 2021, cerca de 10,1 milhões de trabalhadores atuaram na cadeia produtiva da construção no Brasil, gerando uma folha de pagamentos estimada em 288,9 bilhões de reais (CONGRESSO..., 2021). Apesar da sua notória importância, é um setor que tem dificuldade de se desprender de práticas ultrapassadas que impedem a sua evolução. Como aponta Costa (2018), a produtividade na construção civil no mundo cresceu a uma taxa média de 1% ao ano de 1997 a 2017, enquanto a produtividade da economia global cresce em torno de 2,8% ao ano e 3,6% no caso da manufatura. Essa diferença de produtividade gera uma perda de cerca de 1,63 trilhão de dólar por ano, ou seja, se a construção civil fosse igualada à produtividade da economia global, haveria um ganho de 1,63 trilhão de dólar ao ano (COSTA, 2018).

Ainda no contexto da problemática da produtividade do setor, a grande quantidade de atrasos na entrega de edificações é preocupante, visto que o canteiro de obras é uma fonte constante de custos. Segundo Pereira (2012), a demora também ocasiona malefícios indiretos, como problemas no fluxo de caixa, perda de credibilidade perante o mercado, perda de clientes, retorno de parcelas e obrigação de arcar com indenizações. Ademais, Mutti et al. (2014) apontam uma consequência ainda mais discreta: a inflação no preço dos materiais, que resulta em um custo final diferente do que foi primeiramente orçado. Carvalho et al. (2021), por sua vez, indicam que são os problemas de gestão – dos suprimentos, da mão de obra, do projeto e das condições climáticas – os principais responsáveis pelo atraso em obras. Eles refletem uma problemática ainda mais fundamental: a carência de consistência do planejamento. O planejamento de obras eficiente contribui não somente com a redução de prazos, como possibilita a diminuição de desperdícios e garante um controle maior da obra. Isto posto, a busca por metodologias que otimizam o processo de planejamento e gestão de obras se faz primordial para a evolução da construção civil – no mercado de trabalho, aqueles que as possuem têm sua relevância alavancada (BEDIN, 2017).

Uma dessas metodologias é a filosofia *Lean Construction*, introduzido por Lauri Koskela na publicação *Application of the new production philosophy in the construction industry* (1992), que trouxe a aplicação da produção enxuta, originalmente do setor automobilístico, para a construção civil como forma de solucionar os seus diversos problemas de gestão e planejamento (KOSKELA, 1992). Entretanto, a filosofia *Lean* requer tempo e engajamento para ser disseminada (KOSKELA, 1992), o que, culturalmente, não atrai muitas das empresas construtoras brasileiras (HARADA; MENDONÇA FILHO, 2018). Em estudo realizado por Francelino et al. (2006), 13 empresas receberam treinamento e passaram a aplicar os conceitos *Lean*, o que resultou em diversas melhorias de planejamento e gestão. Ainda assim, a grande maioria indicou como a maior dificuldade no processo a resistência dos funcionários às mudanças provenientes da implantação da nova filosofia. Outrossim, Alves et. al. (2008) indicaram a mesma resistência cultural ao aplicarem conceitos *Lean* no planejamento de uma edificação na cidade de Fortaleza, no Ceará. De maneira geral, mesmo com a dificuldade de adaptação, ambos os estudos encontraram melhorias e otimizaram diversos processos das empresas. Coube a tais empresas, portanto, a decisão de implementar permanentemente ou não a filosofia.

Outra questão relevante provinda da necessidade de melhorias na construção civil consiste no desenvolvimento e aperfeiçoamento das ferramentas de planejamento e controle de obras, como o Gráfico de Gantt, as redes PERT/CPM e a Linha de Balanceamento (BEDIN, 2017). Esta última destaca-se por corroborar com a filosofia *Lean* (CARNEIRO et al. 2012), e demonstrar alta eficiência em estruturas de caráter repetitivos, como prédios formados por vários pavimentos tipo ou conjuntos habitacionais. O método permite otimizar o planejamento por meio da aplicação dos princípios da *Lean Construction*. Torna-se possível, assim, trabalhar em prazos mais precisos e enxutos, além de uma gestão visual e democrática.

Sob a óptica do atual estado de atraso identificado no setor da construção civil no país, de forma a buscar possíveis soluções para alavancar a produtividade nos canteiros de obras, o presente trabalho realiza um estudo de caso de uma construtora que adotou o método da Linha de Balanceamento e passou a aplicar os princípios *Lean*. Dessa maneira, busca-se avaliar se a ferramenta pode ser considerada uma solução para disseminar a filosofia proposta por Koskela de maneira eficiente.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência do método da Linha de Balanceamento como potencializadora da implantação dos princípios da *Lean Construction*.

1.2.2 Específicos

- a) Identificar a compatibilidade entre *Lean Construction* e Linha de Balanceamento.
- b) Analisar como a aplicação dos dois impacta no planejamento e gestão de obras, por meio da análise de métricas e resultados obtidos.

1.3 Limitações e delimitações

O estudo foi realizado para uma única empresa construtora, que executa apenas edificações verticais de caráter repetitivo. Não foi possível, portanto, verificar a compatibilidade da Linha de Balanceamento com a *Lean Construction* em cenários que não possuem repetição de serviços em diferentes localizações como característica principal, como casas, obras de saneamento, pavimentação etc.

Outrossim, tendo em vista que o estudo será realizado por meio da análise do planejamento e não da execução, não foi possível verificar custo nem qualidade. Dessa forma, a eficiência dos processos da empresa será medida apenas pela sua duração – serviços que tiverem tempo de execução reduzidos tiveram eficiência aumentada, e fluxos eficientes serão aqueles com menos quebras de continuidade.

Além disso, há poucos dados para as informações obtidas por meio de entrevistas numéricas, devido à falta de coleta pela empresa no período analisado.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi estruturado na forma de 5 capítulos. O primeiro deles introduz o estudo, e apresenta seus objetivos, limitações e delimitações.

O capítulo 2, por sua vez, faz um embasamento teórico sobre os principais temas que serão abordados no estudo: planejamento, filosofia *Lean*, *Lean Construction* e Linha de Balanceamento.

Em seguida, o capítulo 3 apresenta a estratégia adotada para a pesquisa.

Ainda, o capítulo 4 é dedicado a apresentar o estudo de caso. Inicialmente, é feita uma apresentação das características da empresa. Em seguida, é apresentada a linha do tempo com três cenários que se diferem pela utilização da Linha de Balanceamento e da *Lean Construction* ao longo dos anos pela empresa. Então, são estudados materiais de planejamento de cada um dos cenários, com objetivo de identificar as melhorias implementadas pela adoção da Linha de Balanceamento, no cenário dois, e pela consultoria *Lean*, no cenário três.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas com a pesquisa, identifica quais objetivos do trabalho foram atingidos e sugere estudos futuros para ampliar e consolidar os resultados obtidos neste trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Planejamento

Para Jungles e Avila (2013), o planejamento é a orientação do projeto, etapa que define os pontos de partida e de chegada, aborda a operação a ser executada e define as metas a serem cumpridas. É possível incluir nessa fase a previsão de cenários como forma de aumentar a eficiência e segurança dos projetos através de programação, execução, coordenação e controle dos resultados. Xavier (2008) complementa essa análise ao contextualizar o planejamento como o conjunto de decisões tomadas no presente que resultam em implicações futuras.

Outrossim, a divisão do planejamento em níveis hierárquicos torna ainda mais precisas as decisões a serem tomadas. Nesse sentido, uma forma de realizá-la é a partir da divisão temporal em longo, médio e curto prazo. O primeiro refere-se a datas globais da obra e define os ritmos de produção para atingir os objetivos finais do empreendimento. Nele, ainda, deve ser estabelecida a qualidade do produto. O médio prazo equivale a um nível mais tático e busca operar o sistema desenvolvido no planejamento a longo prazo da maneira mais eficiente possível. Este tem função primordial na proteção da produção, isto é, em garantir que as condições necessárias para a execução dos serviços sejam atendidas. O curto prazo, por fim, é o operacional, e tem como objetivo central detalhar as atividades a serem realizadas e reduzir as dificuldades que possam impedir a sua execução (AVILA; JUNGLES, 2013; BEDIN, 2017). Mattos (2010, p. 22-24) lista os principais benefícios de um planejamento detalhado e eficiente. São eles:

1. Conhecimento pleno da obra;
2. Detecção de situações desfavoráveis;
3. Agilidade de decisões;
4. Relação com o orçamento;
5. Otimização da alocação de recursos;
6. Referência para acompanhamento;
7. Padronização;
8. Referência para metas;
9. Documentação e rastreabilidade;

10. Criação de dados históricos;

11. Profissionalismo.

Apesar dos evidentes benefícios de um planejamento assertivo, no setor da construção civil existe uma deficiência cultural nessa área, visto que atrasos e estouros de orçamento têm tamanha recorrência que já são esperados por todos os envolvidos, incluindo os clientes (BEDIN, 2017). Nesse contexto, a mão de obra é frequentemente citada como um dos principais responsáveis pelos atrasos na entrega de obras. Contudo, os operários muitas vezes não têm conhecimento do que devem de fato executar ou não dispõem dos instrumentos de trabalho adequados (FORMOSO; SAURIN, 2006). Desse modo, o planejamento deve ser democratizado e possuir linguagem acessível para todos os trabalhadores envolvidos com a obra (BEDIN, 2017). Mattos (2010) aponta que um dos maiores causadores do déficit dessa área nas construtoras ocorre devido à sua restrição ao próprio setor, que deixa de ser integrado aos demais envolvidos na obra e, assim, torna-se mais suscetível a erros. Dessa forma, o sucesso de implantação de um projeto de planejamento não consiste somente na aplicação de conceitos e ferramentas gerenciais, mas também em mudanças de caráter comportamental, ou seja, do envolvimento de todas as pessoas que compõem a organização (HERNANDES, 2002). Além disso, o planejamento deve ser constantemente revisado e adaptado para a situação na qual a obra se encontra, tendo em vista que a construção civil é caracterizada pela grande variabilidade, e, ainda que o planejamento efetivo contribua para a redução de imprevistos (como erros humanos, condições climáticas e atraso na entrega de materiais por fornecedores), não os elimina totalmente.

2.2 Modelos de produção e surgimento do *Lean*

No contexto do século 19 e início do século 20, a produção era predominantemente artesanal, o que gerava uma pequena quantidade de produtos únicos e caros. Em 1911, Fred Winslow Taylor publica *Scientific Management* e assim propõe a aplicação de princípios científicos para aumentar a lucratividade da manufatura, marco inicial da engenharia industrial. O autor separa a mão de obra do planejamento, dividindo-a em tarefas específicas, e busca a padronização, medição e melhoria constante dos processos. Os conceitos apresentados por Taylor ficaram conhecidos como Taylorismo e foram a base do que se tornaria, mais tarde, a produção em massa (DENNIS, 2008).

Outrossim, por meio da aplicação dos conceitos da produção em massa na indústria automobilística, Henry Ford cria um método de organização da produção e do trabalho complementares ao Taylorismo. Esse setor era ainda dominado pela produção artesanal, o que o tornava dependente de mão de obra extremamente capacitada e longos períodos de produção e resultava em preços elevados (DENNIS, 2008). O Fordismo, desse modo, trouxe trabalhadores especializados em uma única função do fluxo de produção, introduziu a linha de montagem na qual os operários esperavam o trabalho chegar até seu posto e dividiu o produto em diversas peças com total intercambialidade e facilidade de ajustes entre si. Os conceitos apresentados por Ford resultaram na economia de pensamentos e movimentos dos operários (TENÓRIO, 2011). O sistema, assim, lançou a empresa à liderança industrial, com a produção em massa de produtos padronizados.

Em 1950, o engenheiro Eiji Toyoda, da fabricante de automotivos Toyota Motor Corporation, visitou uma das fábricas da Ford, em Detroit. A Toyota já estava no mercado há 13 anos, e durante todo esse período, conseguiu produzir 2685 automóveis. A fábrica visitada, chamada Rouge, produzia, na mesma época, 7000 veículos por dia (DENNIS, 2008). Ao voltar para o Japão, Eiji e Taiichi Ohno, engenheiro de produção da Toyota, concluíram que o sistema visto em Detroit, apesar dos resultados invejáveis, não funcionaria no seu país, que havia recentemente perdido uma guerra e, portanto, apresentava escassez de recursos humanos, econômicos e materiais (ARANTES, 2008). Nesse cenário, Ohno achou a solução para a sua realidade nacional invertendo a lógica de Henry Ford: enquanto no sistema Fordista a produção em massa exigia a padronização total do produto, e assim a escolha do consumidor limitava-se a ter um Ford Modelo T preto ou não possuir o veículo, no sistema proposto por Ohno o fabricante poderia ter lucro mesmo com o cliente escolhendo a cor do carro, desde que a produção fosse flexível, enxuta e eficaz, com o menor custo possível (LOCATELLI, 2021). A política de produção em quantidade tinha alguns problemas, que Taiichi Ohno se propôs a resolver com a produção enxuta. A separação entre o planejamento e mão de obra, proposto inicialmente por Taylor e utilizado por Ford, criou inimizade entre operários e gestores. Os trabalhadores detestavam o chão de fábrica e o trabalho exaustivo e repetitivo. Estes, que estavam mais próximos da produção, não eram envolvidos na organização do trabalho e não podiam propor melhorias. Assim, a qualidade ficou em segundo plano em relação ao volume (DENNIS, 2008). Outro ponto crítico do Fordismo foi o acúmulo e desperdício

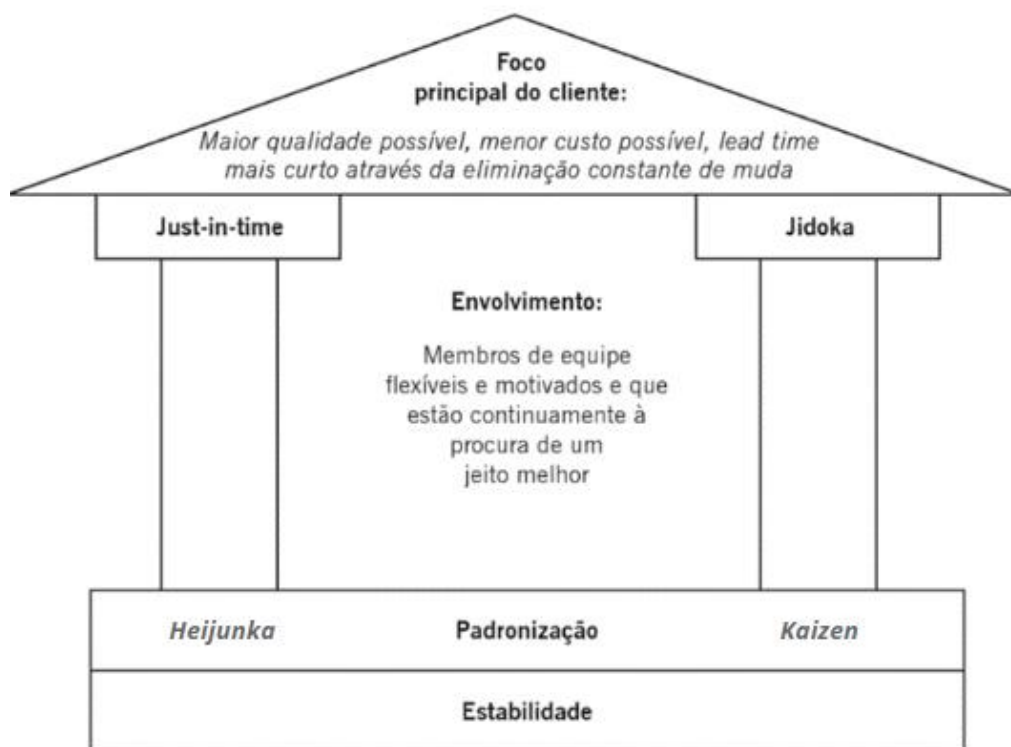
de insumos, que em momentos de crise poderia decretar o fim deste sistema produtivo (TENÓRIO, 2011).

Da busca por solucionar os problemas apontados nos modelos anteriores e adaptá-los para a realidade japonesa, Taiichi Ohno criou o Sistema Toyota de Produção (STP), ou sistema *Lean* de produção. A sua metodologia tem foco na melhoria contínua e na redução de desperdícios, que passa a ser entendido como qualquer coisa que consuma recursos sem acrescentar valor ao produto (ARANTES, 2008). Ainda, os desperdícios podem ser identificados em oito diferentes formas na cadeia de produção (LOCATELLI, 2021, apud OHNO, 1997; LIKER, 2006), sendo eles:

- Espera ou tempo sem trabalho: mão de obra parada por falta de frente de trabalho ou insumos, ou ainda por atrasos e interrupções;
- Superprodução: produção sem demanda, que utiliza mão de obra desnecessária e forma estoques;
- Processamento impróprio: etapas desnecessárias ou ineficientes na produção;
- Transporte: movimento ineficiente ou desnecessário de materiais;
- Excesso de estoque: excedente de insumos, que resulta em custos de transporte e armazenagem;
- Movimento desnecessário: qualquer movimento evitável no ambiente de trabalho;
- Defeitos: necessidade de inspecionar e retrabalhar;
- Desperdício Intelectual dos funcionários: o não envolvimento dos funcionários gera desalinhamento entre gestão e mão de obra, além da perda de possíveis ideias, habilidades e melhorias.

Nesse sentido, o esquema da “casa STP” (Figura 1), desenvolvido por Fuji Cho na tentativa de propagar o pensamento STP dentro da Toyota e para os seus fornecedores (BALLÉ; EVESQUE, 2018), representa os diversos conceitos que servem como base desse sistema, que é amplamente utilizado e estudado até a atualidade.

Figura 1 - Casa STP



Fonte: Dennis (2008). Adaptado pelo autor

Cada elemento da casa STP tem função metafórica na produção enxuta como exerce na realidade. O telhado define os objetivos: maior qualidade, com menor custo e menor *lead time*, que é o tempo que a empresa leva para executar todo o ciclo operacional até o produto chegar ao cliente (BALLÉ; EVESQUE, 2018). A base, em seguida, representa a estabilidade. Os seus três princípios centrais são a padronização do trabalho, que resulta nas melhores práticas, *Heijunka*, que significa suavizar o fluxo de trabalho por meio do equilíbrio do nível da demanda e *Kaizen*, que traz o conceito de melhoria contínua (OLIVEIRA, 2019). O Pilar da esquerda, *Just-in-Time*, ou JIT, é “uma técnica de gestão que estabelece que o fornecedor atenda seu cliente produzindo exatamente o item certo, na quantidade certa, no momento certo” (GHINATO, 2006, p.2). O pilar do JIT, ainda, pode ser expandido em três conceitos fundamentais: fluxo contínuo, *Takt-Time* e Produção Puxada. Fluxo contínuo significa produzir um item por vez, esquema no qual cada peça passa de um processo para o subsequente, sem interrupções (SANTOS, 2019). Pausas no fluxo de trabalho, segundo Bulhões e Picchi (2011) aumentam a parcela de atividades que não agregam valor e a quantidade de estoques de produtos inacabados. *Takt-Time*, por sua vez, é o ritmo alocado para a produção de uma peça ou produto em

uma linha ou célula (ALVAREZ; ANTUNES JUNIOR, 2001). Por fim, Produção Puxada se refere aos casos em que só se inicia o processo produtivo quando visualizada uma determinada demanda específica. O segundo pilar da casa SPT, *Jidoka*, consiste em conceder autonomia ao operador ou à máquina para paralisar o processamento ao menor sinal de anormalidade. Similarmente como ocorre em uma edificação verdadeira, os pilares da casa STP têm uma posição estrutural que assegura o equilíbrio do sistema (GHINATO, 2006). O “coração” do sistema, isto é, o requisito que garante seu funcionamento, é o envolvimento de todos os funcionários – desde a gestão até a mão de obra. Dessa forma, após Taylor separar quase que totalmente a mão de obra do planejamento, Ohno os une novamente (DENNIS, 2008). A necessidade de engajamento e mudança de mentalidade de toda a empresa, desde a mão de obra até os gestores, mostrou que o *Lean* é, acima de tudo, uma filosofia, tendo em vista que a sua adoção depende de uma mudança de pensamento (OLIVEIRA, 2019). Essa filosofia disseminou-se para diversos outros setores econômicos e ficou conhecida como *Lean Thinking*, ou pensamento enxuto, na tradução para o português (LOCATELLI, 2021). Isto posto, a tabela 1 exemplifica algumas das principais mudanças ideológicas que marcaram a passagem da produção em massa para o sistema da Toyota.

Quadro 1 - Produção em massa e Lean Thinking

Produção em massa	<i>Lean Thinking</i>
Não pare, faça. E nunca pare de fazer.	Pare a produção, para que ela nunca tenha que parar (<i>Jidoka</i>).
Produza lotes grandes e mova-os lentamente pelo sistema (Sistema Empurrado).	Produza apenas o que o cliente pediu (Sistema Puxado).
Você fará assim (Lider = Chefe).	O que você acha? (Lider = Professor).
Engenheiros criam padrões, a mão de obra faz o que é mandado.	Os trabalhadores mais próximos da produção auxiliam no desenvolvimento dos padrões.
Não erre (ou não seja pego errando).	Torne os problemas visíveis.
Apenas a mão de obra vai ao chão de fábrica.	Gestão mais participativa.
Faça-Faça-Faça-Faça.	Planeje-Faça-Confira-Ajuste (PDCA).

Fonte: Dennis (2008). Adaptado pelo autor.

2.3 *Lean Construction*

A partir de 1990, o *Lean Thinking* se desprende do setor automobilístico e passou a integrar outros setores (LOCATELLI, 2021). Em 1992, Lauri Koskela publicou o trabalho *Application of the new production philosophy in the construction industry*, e sugeriu, pela primeira vez, a aplicação dessa filosofia na construção civil – situação que constituiu o marco inicial da *Lean Construction*, ou Construção Enxuta, em português. O setor da construção civil é conhecido historicamente pelo atraso de entregas, gastos superiores aos previstos no início do projeto, desperdício de materiais e produtos com qualidade inferior à prometida ao cliente (KOSKELA, 1992). Nesse contexto, o pensamento *Lean* não se mostrou apenas efetivo, mas necessário. Contudo, o setor construtivo possui características muito específicas, como projetos diferentes para cada empreendimento, meios de produção ainda muito manuais e influência do local, de modo que seja necessário adaptar as metodologias aderidas das demais áreas produtivas antes de implementá-las (GITAHY et al, 2018). Dessa forma, com base no Sistema Toyota de produção, Koskela (1992) propôs a nova filosofia de produção, como o autor a chamou, predominantemente baseada no pilar *Just-in-time* do *Lean Thinking* (GITAHY et al, 2018), visto que os conceitos de *Takt-Time*, fluxo contínuo e Produção Puxada foram apontados como tão relevantes para otimização dos processos quanto eram anteriormente na manufatura. Koskela (1992) sintetizou a Construção Enxuta em onze princípios, são eles:

1. Redução de atividades que não agregam valor ao produto;
2. O valor do produto deve ser melhorado de acordo com a exigência dos clientes;
3. Reduzir a variabilidade através da padronização das atividades;
4. Reduzir o tempo de ciclo, que é definido pelo próprio Koskela (1992) como o tempo total das atividades de processamento, inspeção, movimento e espera.
5. Simplificar e minimizar processos;
6. Melhorar a flexibilização de saída;
7. Aumentar a transparência do processo;
8. Foco no controle sobre todo o processo;
9. Busca pela perfeição;
10. Balancear a melhoria do fluxo com melhoria de conversão;

11. Comparação com concorrentes de mercado de modo a otimizar os próprios processos e agregar valor ao produto (*Benchmark*).

De forma geral, o grande objetivo da *Lean Construction* é a redução dos diversos tipos de desperdícios encontrados no setor da construção civil (LOCATELLI, 2021). Esses desperdícios são usualmente associados apenas aos de materiais: entulhos, restos de madeira, blocos etc. Entretanto, também se enquadra no termo qualquer utilização de recursos – sejam eles equipamentos, materiais ou mão de obra – superior ao necessário para a produção da edificação (ISATTO et al., 2000; SANTOS et al., 2000, apud ELY, 2011). Isto posto, as atividades que ocorrem dentro do canteiro de obras podem ser divididas entre as que agregam valor e as que não agregam: as primeiras convertem recursos no que é exigido pelo cliente, enquanto as segundas são aquelas que consomem recursos sem acrescentar avanço na produção, e, portanto, podem ser classificadas como desperdícios (KOSKELA, 1992). Da mesma forma que acontecia na manufatura, as atividades que não agregam valor podem aparecer em diferentes formas no fluxo de produção da construção civil. Koskela (1992) contextualiza a alta relevância dos diferentes tipos de desperdícios do *Lean Thinking*, listados na seção anterior do mesmo capítulo, no setor construtivo, e ainda acrescenta um novo item à lista: *Making-do* – todo serviço que é realizado sem os requisitos necessários para sua execução. Sob esta óptica, a aplicação da *Lean Construction* permite otimizar todo o processo construtivo de forma a reduzir os desperdícios de cada uma de suas etapas a partir da sua classificação, mensuração e discussão (LOCATELLI, 2021).

Desde a publicação de Koskela, em 1992, a *Lean Construction* é amplamente estudada e adaptada no mundo inteiro, e a aplicação dos onze princípios tornou-se um desafio às diversas construtoras que, por meio dessa metodologia, buscam reduzir desperdícios e aumentar a lucratividade. No estudo de Francelino et al. (2006), apresentado na seção 1 do primeiro capítulo, as 13 empresas relataram adquirir um maior controle dos fluxos (físicos, de informação e financeiros), melhora no planejamento e na visualização, tanto de curto quanto de longo prazo, e maior assertividade acerca das atividades que agregam ou não valor, de forma a direcionar os esforços.

2.4 Método da Linha de Balanceamento

A linha de Balanceamento é uma técnica de planejamento e controle originada da manufatura, primeiramente desenvolvida pela empresa fabricante de pneus estado-

unidense *Goodyear Tire & Rubber Company*, no ano de 1941. A técnica – que foi posteriormente ampliada para outros setores, dentre os quais está a construção civil (MATTOS, 2010) – tem como objetivo exibir o ritmo de trabalho das diferentes atividades, e assim identificar a necessidade de recursos para que cada etapa não interfira na próxima (BEDIN, 2017).

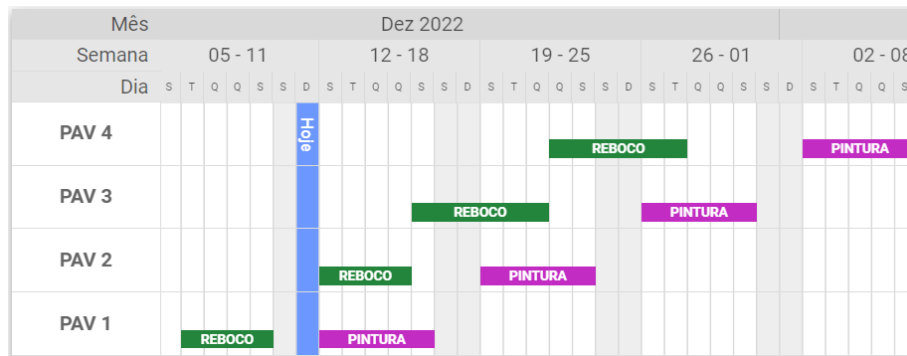
Para a utilização do método da Linha de Balanceamento, é elaborado um gráfico no qual o eixo vertical divide os lotes, que são as diferentes unidades a serem repetidas (pavimentos, blocos, torres etc.) e o eixo horizontal representa o tempo (figura 2). No cronograma, são definidas as atividades bases, que se repetem ao longo da obra (figura 3). Em seguida, a cada uma delas é imposto um ritmo, que é uma consequência direta da sua produtividade e define a inclinação da “escada” formada pela recorrência do serviço nas diferentes unidades de repetição (MATTOS, 2010). O tamanho dos blocos, que identifica a atividade, funciona como os “degraus da escada” e representa a duração de cada serviço. O resultado da utilização completa da LOB é um cronograma visual, com fácil percepção de ritmos e folgas, e que permite ao planejador identificar os recursos necessários para que uma atividade não comprometa a seguinte. O objetivo é aumentar a eficiência dos processos, balanceando os serviços e reduzindo desperdícios de tempo entre atividades (BEDIN, 2017).

Figura 2 - Eixos na LOB

	Mês																				
	05 - 11							Dez 2022													
	Semana							12 - 18							19 - 25						
	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	Q	S	S	D
PAV 4							Hoje														
PAV 3																					
PAV 2																					
PAV 1																					

Fonte: autor, utilizando o software da Prevision

Figura 3 - Atividades no Cronograma



Fonte: Autor, utilizando o software da Prevision

Métodos de planejamento tradicionais, como o método da rede PERT/CPM e o de Gantt não se beneficiam das particularidades das construções repetitivas (BEDIN, 2017; MATTOS, 2010). Nestes exemplos, a repetição em ciclos de mesmos serviços, no lugar de simplificar o processo de planejamento, o torna mais trabalhoso, uma vez que uma mesma atividade aparece diversas vezes no eixo vertical do cronograma, de forma a torná-lo mais extenso e dificultar o seu controle. Em contrapartida, os serviços repetitivos são o que tornam a Linha de Balanceamento, ou LOB (do inglês *Line of Balance*), um método prático e visual.

2.4.1 Requisitos para a utilização da Linha de Balanceamento

No contexto deste trabalho, as fórmulas que serão abordadas não foram utilizadas pela empresa em análise, visto que a aplicação da Linha de Balanceamento foi feita por meio do *software* da Prevision, que não calcula e nem impõe ritmo às atividades. Ainda assim, para que o estudo possa ser replicado, serão explicados os parâmetros necessários para a correta aplicação da LOB (AVILA; JUNGLES, 2013).

I. Duração total (DT)

Corresponde ao tempo total para conclusão da obra, estabelecido em contrato e definido como prazo final pela construtora (BEDIN, 2017). É também definido pela soma do tempo de mobilização (T_m), tempo base (T_b) e tempo restante (TR) (Equação 1). O T_m é o tempo que se passa entre a assinatura do contrato até o início efetivo da obra; O T_b é a soma das durações de todas as atividades presentes em um caminho crítico de uma unidade básica (Equação 2); O TR corresponde ao tempo restante entre a conclusão da primeira unidade básica até a data final para conclusão do empreendimento, previamente estipulada em contrato (AVILA; JUNGLES, 2013).

$$DT = T_m + T_b + T_R \quad (1)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 293).

$$T_b = \sum_{s=a}^k t(s) \quad (2)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 294).

Onde $t(s)$ é a duração de cada atividade.

II. Ritmo de construção (ρ)

O Expressa o número de unidades básicas pelo tempo. A medida é calculada pela razão entre o número de unidades básicas restantes após a conclusão da primeira. Pode ser expressa pela equação 3.

$$\rho = \tan \alpha = \frac{(n-1)}{T_R} \quad (3)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 295).

III. Duração das Atividades (d)

Para chegar ao valor da duração de cada atividade, primeiramente deve-se calcular o total de horas necessárias para completá-las (T_0) por meio da equação 4.

$$T_0(s) = QS(s) \cdot Pr(s) \quad (4)$$

Fonte: Adaptado de Avila e Jungles (2013, p. 296).

Onde QS é o volume de serviço da atividade e Pr é a produtividade de uma equipe padrão. A duração da atividade (d) é o tempo total em horas dividido pelo número de equipes destinadas àquela atividade.

$$d(s) = \frac{T_0(s)}{N^{\circ}Eq(s)} \quad (5)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 296).

Ainda, a duração deve ser calculada por jornada de trabalho, podendo ser transformada em semanas ou meses, conforme a preferência do gestor (BEDIN, 2017).

$$t(s) = \frac{d(s)}{H_j} \quad (6)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 297).

IV. Número de Equipes ($N^{\circ}Eq$)

É a quantidade de equipes necessárias para realização de uma determinada atividade. Pode ser calculada pela equação 7 ou 8.

$$N^{\circ}Eq(s) = d(s) \cdot \rho(s) \quad (7)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 297).

$$N^{\circ}Eq(s) = t(s) \cdot \rho(s) \quad (8)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 297).

V. Duração total da atividade repetitiva (dT)

Para atividades com o ritmo constante ao longo de todos os pavimentos, pode-se calcular a duração total da atividade repetitiva por meio da equação 9. Caso contrário, deve-se adaptar a fórmula conforme o necessário para o caso (BEDIN, 2017).

$$dT(s) = \frac{NR \cdot d(s)}{N^{\circ}Eq(s)} \quad (9)$$

Fonte: Avila e Jungles (2013, p. 298).

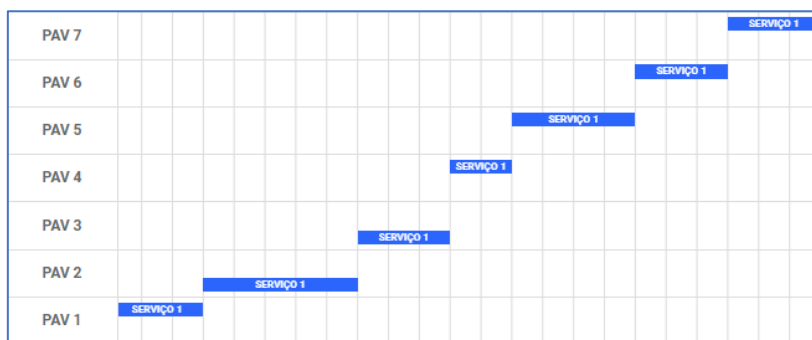
2.5 Relação entre a Linha de Balanceamento e *Lean Construction*

Heineck e Moura (2014) expõem a divergência de opiniões entre diversos autores quanto a relação entre LOB e pensamento *Lean*. Eles citam autores, como Souza et al. (2005) e Barbosa et al. (2013), que defendem a ideia de que a LOB é apenas uma ferramenta de planejamento na qual podem ser aplicados os princípios da *Lean Construction*. Em contrapartida, há o grupo de autores que entendem a ferramenta como detentora destes princípios, como Carneiro et al. (2012) e Matos et al. (2009). De qualquer forma, é fato que a LOB se beneficia da filosofia *Lean* (HEINECK; MOURA, 2014), tendo em vista que a sua estrutura prática e visual facilita a identificação e aplicação de diversos princípios fundamentais na busca pela construção enxuta. Dentre eles, os exemplos práticos desta relação entre filosofia e ferramenta que serão mais abordados ao longo do estudo são:

a. Redução da Variabilidade

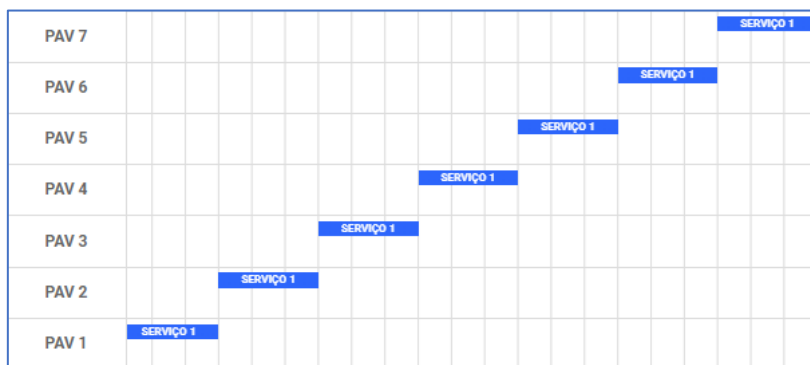
Koskella (1992) afirma que, no cenário da produção e construção, variabilidade nunca é um benefício. Ela aumenta o volume de atividades que não geram valor e não traz vantagens para o consumidor. A redução de variabilidade, segundo o autor, deve ser sempre um objetivo geral. Nesse sentido, a LOB é uma ferramenta que facilmente as identifica e remove (HEINECK; MOURA, 2014), como exemplificado nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Atividade com variabilidade



Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

Figura 5 - Atividade pós eliminação da variabilidade

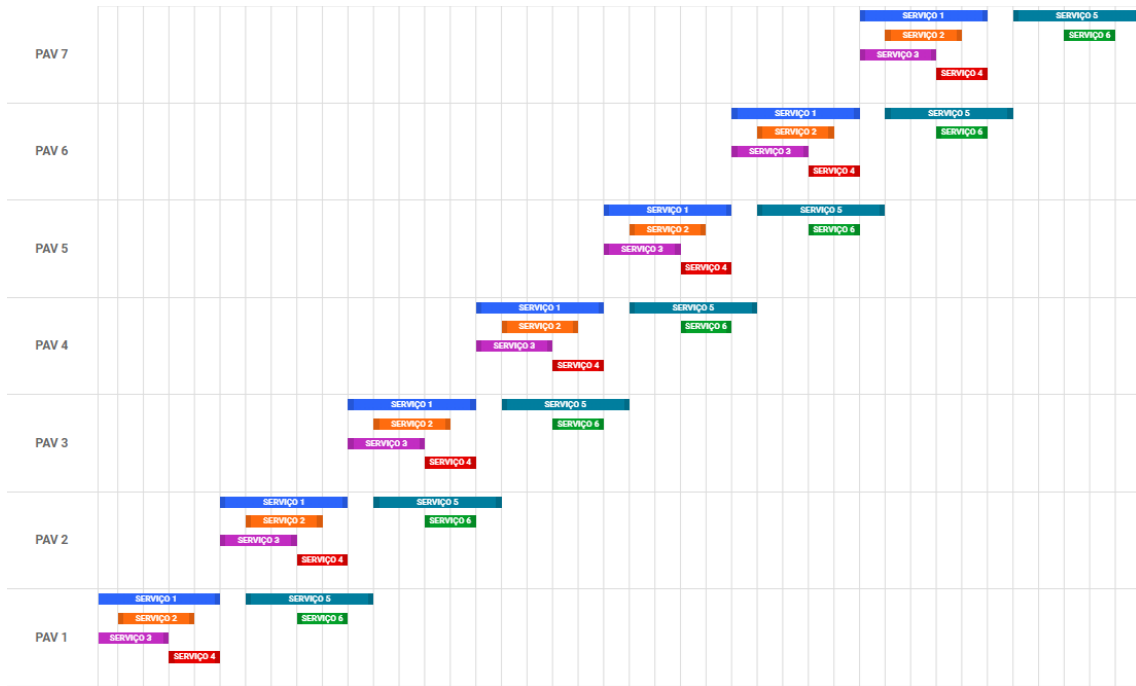


Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

b. Simplificar e otimizar os processos

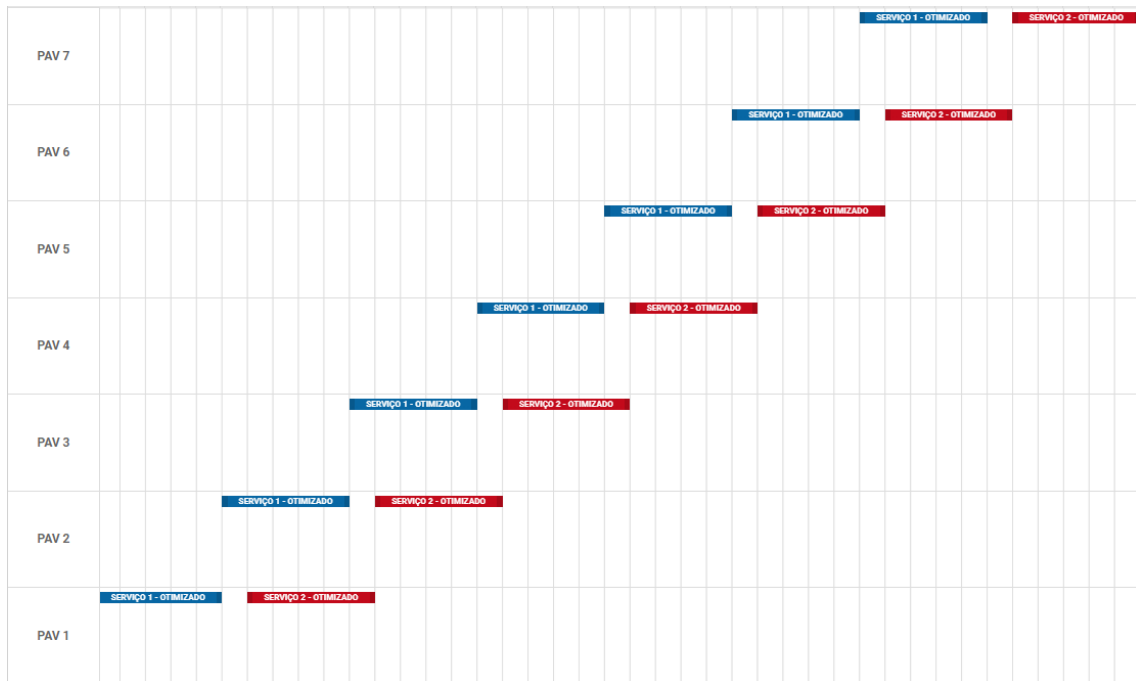
Ademais, quanto maior o número de componentes ou passos em um processo, maior tende a ser o número de atividades que não agregam valor (HEINECK; MOURA. 2014). Koskela (1992) aponta que a complexidade da criação do produto impacta diretamente no seu custo de produção. A pacotização é uma solução para reduzir a complexidade do projeto (HEINECK; MOURA. 2014) na medida em que transforma duas ou mais atividades em uma única que engloba todo o processo essencial da sequência das atividades, retira o que não agrega valor, enquanto mantém o fluxo mais visual e, assim, diminui a quantidade de informações necessárias para o controle. As figuras 6 e 7 exemplificam a pacotização na LOB, na qual seis atividades foram separadas em apenas duas principais.

Figura 6 - Cronograma complexo



Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

Figura 7 - Cronograma pacotizado.



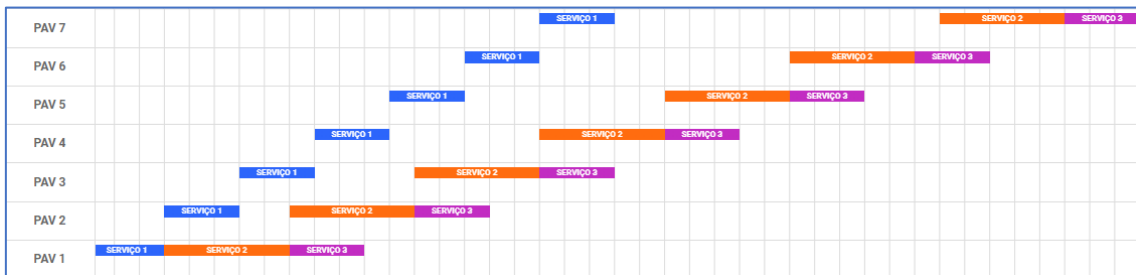
Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

c. Fluxo Contínuo

Uma causa comum de quebra da continuidade de fluxos é a diferença de ritmos entre atividades sequenciadas (SANTOS, 2019). Como ilustra a figura 8, uma atividade com duração menor seguida de outra com duração maior gera folga por falta de mão de obra, visto que quando a segunda execução da primeira atividade finaliza, a segunda atividade ainda está na primeira execução. No caso contrário, no qual a de menor duração sucede a de maior, ocorre folga por falta de frente de trabalho. Quando a equipe do último serviço termina, precisa esperar até a equipe predecessora terminar na próxima etapa. Esse ritmo de produção alocado ao produto é chamado de *takt-time* – o qual não é um dado absoluto, mas sim determinado (ALVAREZ; ANTUNES JUNIOR. 2001). A padronização do *takt-time* dos processos, como ilustra a figura 9, elimina as folgas e reduz os estoques, e é essencial para o fluxo contínuo (SANTOS, 2019).

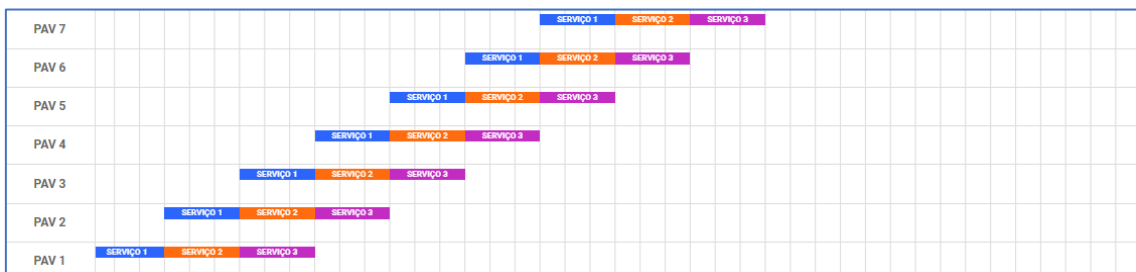
Ademais, a implementação do fluxo contínuo reflete diretamente no *lead time*, isso é, no período desde a entrada da matéria prima até a entrega do produto (BULHÕES; PICCHI. 2011), como mostra as figuras 8 e 9.

Figura 8 - Fluxo não contínuo de atividades



Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

Figura 9 - Fluxo contínuo



Fonte: autoral, utilizando o software da Prevision

d. Visão e controle geral do projeto

No estudo de Francelino et al. (2006), introduzido na seção 1 do capítulo 1, uma das inovações trazidas para as construtoras que passaram a aplicar os conceitos *Lean* foi a execução de cronograma em linha de balanceamento. Por conta das diversas mudanças propostas no estudo, se fez necessária uma metodologia de planejamento que gerasse uma visão global da obra e assim permitisse a adoção e o controle dessas inovações. Nessa lógica, os autores encontraram a solução na LOB, uma vez que outras ferramentas costumam não ser muito visuais, o que dificulta o controle e gestão. O método de Gantt, por exemplo, tem em seu eixo vertical todas as atividades realizadas no projeto. Assim, obras maiores tendem a aumentar muito o tamanho do cronograma. Na LOB, por outro lado, esse eixo representa os lotes, isso é, os locais de aplicação das atividades, o que permite um cronograma mais enxuto. O eixo dos lotes permite também uma visão clara e rápida da localização de cada equipe de trabalho (MARTINS; MONTEIRO, 2011). Ainda, segundo Heineck e Moura (2014), por mais que a LOB seja uma ferramenta de planejamento a longo prazo, é possível integrar as visões de curto e médio prazo também ao cronograma, inserindo restrições e atividades de *set-up*.

3. MÉTODO

3.1 Método adotado

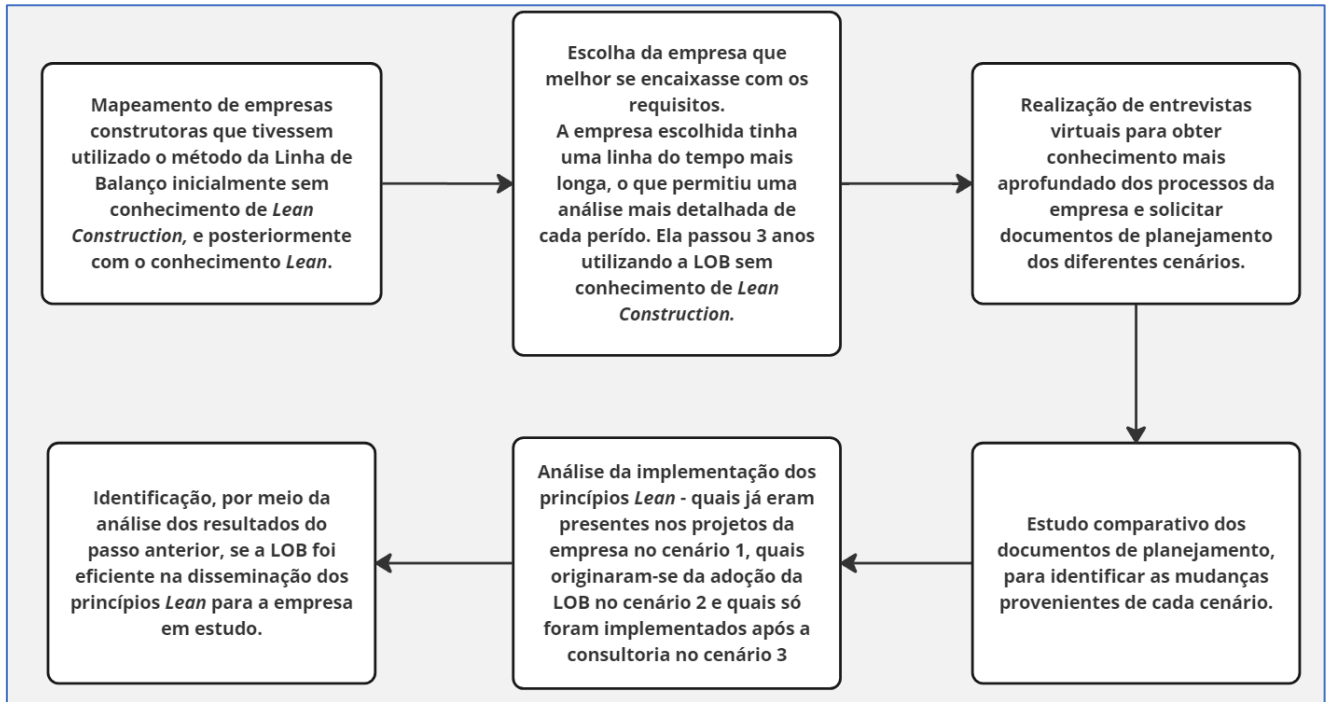
Diante da desconformidade entre autores quanto à relação entre *Lean Construction* e Linha de Balanceamento apresentada no item 2.5, foi escolhida a estratégia de pesquisa estudo de caso a fim de se obter resultados conclusivos por meio de um caso prático, e assim avaliar se a LOB pode ser solução para a disseminação do *Lean* no setor da construção civil no Brasil. Essa metodologia, por sua vez, classifica-se como “um método de pesquisa que utiliza, geralmente, dados qualitativos, coletados a partir de eventos reais, com o objetivo de explicar, explorar ou descrever fenômenos atuais inseridos em seu próprio contexto. Caracteriza-se por ser um estudo detalhado e exaustivo de poucos, ou mesmo de um único objeto, fornecendo conhecimentos profundos” (BRANSKI et al., p.1).

3.2 Estratégia adotada

Para o estudo de caso foi estrategicamente selecionada uma empresa construtora que inicialmente não utilizava LOB e tampouco possuía conhecimento de *Lean Construction*. Posteriormente, a empresa passou a utilizar apenas a LOB, ainda sem conhecimento *Lean*. Finalmente, a construtora recebeu consultoria para aprender e aplicar os princípios desta filosofia em uma de suas obras. Deste modo, foi possível dividir a linha do tempo da empresa em três diferentes cenários que se diferenciam quanto à utilização da LOB e da *Lean Construction*: no primeiro, a mesma não utilizava LOB e não possuía conhecimento *Lean*; no segundo, utilizava a LOB ainda sem conhecimento *Lean*; no terceiro, ambos os conceitos eram conhecidos e aplicados nos projetos. Todo o período anterior à consultoria, representado pelos cenários 1 e 2, ocorreu antes do início do estudo, e, portanto, não foi acompanhado pelo autor. Nesse sentido, foram realizadas entrevistas com gestores da empresa a fim de contextualizar as características e práticas utilizadas nos projetos que ocorreram ao longo deste estágio. Ademais, foram solicitados materiais de planejamento dos três cenários, de modo que pudesse ser realizado um estudo comparativo com o objetivo de detectar os princípios *Lean* nos cronogramas – abordados nos itens 2 e 3 do capítulo 2. Assim, foi possível identificar quais destes princípios já eram presentes nos projetos da empresa anteriormente à LOB e ao *Lean*, quais foram implementados ao planejamento da empresa unicamente pela adoção da LOB e quais

foram consequência do estudo da filosofia *Lean*. Dessa maneira, pôde-se verificar a eficiência da Linha de Balanceamento na disseminação da *Lean Construction*. A figura 10 ilustra o fluxograma das etapas utilizadas para a realização do estudo.

Figura 10 - Fluxograma das etapas para a realização do estudo



Fonte: elaborado pelo autor

4. ESTUDO DE CASO

4.1 A empresa

A empresa estudada é uma construtora focada em edificações verticais residenciais, fundada em Belo Horizonte, no ano de 1998. Inicialmente, o planejamento de seus empreendimentos era realizado por gráfico de Gantt em planilhas eletrônicas. Ao longo de sua existência, a empresa se expandiu para diversas regiões do Brasil, com filiais no Sul, Sudeste e Nordeste. Em 2020, foi reconhecida como uma das 30 maiores construtoras do País. O constante crescimento da empresa, que aumentava a quantidade de obras simultâneas a cada ano, elevou também a necessidade de controle sobre os seus processos. Nesse sentido, a solução encontrada, em 2020, foi a utilização do *software* de planejamento de obras em LOB da empresa *Prevision*. Entretanto, a decisão de migrar das planilhas eletrônicas para a *Prevision* não foi embasada na troca do Gantt pela LOB, mas sim na centralização de informações – anteriormente eram necessárias diversas planilhas para cada obra, enquanto o novo *software* reunia todos os cronogramas em uma mesma plataforma. Assim, a LOB para a empresa foi uma consequência da decisão de melhorar a gestão, e não necessariamente uma escolha por troca de metodologia de planejamento.

Nos três anos seguintes, a empresa migrou completamente para a nova ferramenta – atualmente, todos os seus projetos são planejados utilizando a plataforma *Prevision*. No ano de 2023, com o objetivo de otimizar ainda mais seus processos, desde o planejamento e gestão até a execução de serviços *in loco*, a construtora contratou uma consultoria de *Lean Construction*, uma filosofia completamente nova para a empresa. A consultoria se estendeu de fevereiro a junho do mesmo ano. As práticas e conceitos aprendidos na consultoria foram aplicados a uma única obra escolhida pela empresa. O objetivo dessa abordagem, portanto, foi identificar as inovações mais eficientes para replicá-las nos demais projetos.

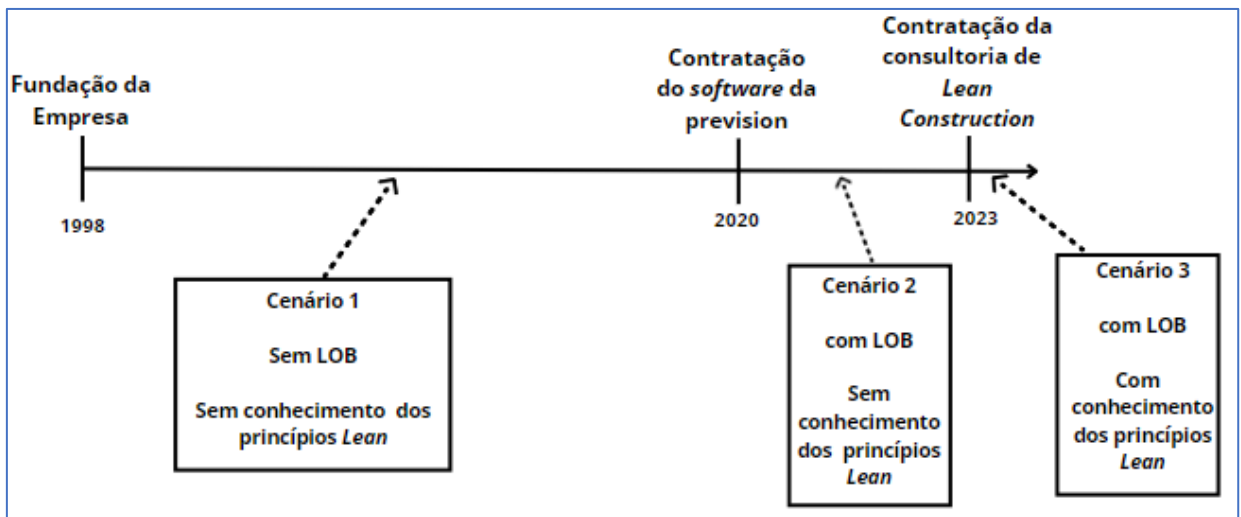
4.2 O estudo

Como já exposto no capítulo anterior, para alcançar os objetivos do trabalho, a linha do tempo da empresa foi dividida em três cenários que diferem na relação da utilização da *Lean Construction* e da LOB. O primeiro deles é o mais extenso, cuja abordagem inclui desde a fundação da empresa, em 1998, até o ponto de início da

utilização da *Prevision*, em 2020. Neste cenário nenhum dos dois conceitos eram conhecidos pela empresa. O segundo cenário inicia com a utilização da *Prevision*, em 2020, e finaliza quando a empresa contrata o serviço de consultoria de *Lean Construction*, em 2023. Neste caso, apenas a LOB era conhecida pela construtora. Por fim, o terceiro cenário ocorre após o início da consultoria e é representado pela única obra com planejamento em LOB, na qual a empresa detinha conhecimentos de *Lean Construction* para elaborá-lo.

O fluxograma a seguir (figura 11) ilustra os diferentes cenários que serão abordados ainda neste capítulo.

Figura 11 - Fluxograma dos cenários da empresa



Fonte: Autor

4.2.1 Cenário 1

Como já exposto anteriormente, o planejamento das obras executadas pela empresa no período de 1998 até 2020 era feito em gráfico de Gantt em planilhas eletrônicas. Nessa metodologia o cronograma é feito com um eixo horizontal que representa o tempo e outro vertical composto por todas as atividades planejadas para a obra. Assim, é esperado que em projetos grandes o gráfico de Gantt seja muito extenso e pouco visual, devido ao elevado número de atividades.

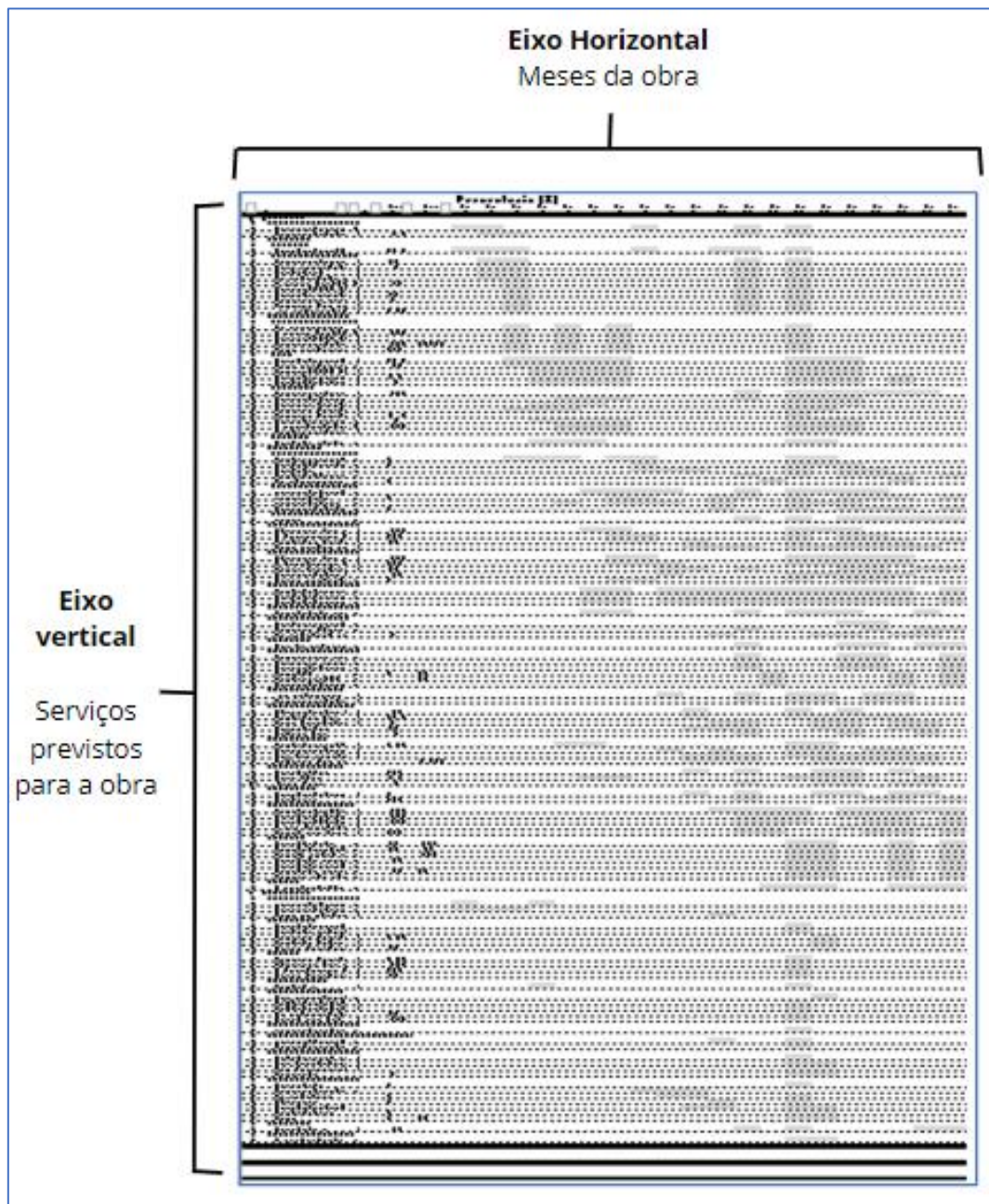
Para análise do cenário 1, foi disponibilizado pela empresa um único cronograma. O projeto analisado é do Programa Minha Casa Minha Vida e é composto por doze torres que possuem térreo, três pavimentos tipo e uma cobertura, totalizando cinco pavimentos. O imóvel começou a ser construído em fevereiro de 2018 e a obra se estendeu por 20

meses, com entrega no final de 2019. O planejamento era composto por 21 planilhas eletrônicas: a primeira apresentava o gráfico de Gantt da obra inteira, com o eixo vertical representado por todas as atividades planejadas e o eixo horizontal pelo tempo. O eixo do tempo foi dividido a nível mensal, e, portanto, o gráfico indicava apenas a porcentagem prevista para cada serviço nos diferentes meses. As outras planilhas, por sua vez, detalhavam cada uma um mês de obra, com a previsão do que seria executado para cada atividade nos diferentes blocos e pavimentos. Nestas, o eixo vertical representava as atividades que ocorreriam no mês e o eixo horizontal os pavimentos e blocos nos quais esses serviços seriam realizados.

Desse modo, a análise do material fornecido demonstrou que a empresa possuía pouco controle dos seus fluxos de trabalho e processos no primeiro cenário, visto que o planejamento era feito em escala mensal. Assim, a sequência executiva das atividades que englobavam o previsto para cada mês era decidida em obra, enquanto o planejamento tinha como função principal definir metas mensais. Neste período, a empresa constatou alta dificuldade de engajamento dos funcionários nas ferramentas de planejamento devido à complexidade das planilhas e dificuldade no replanejamento – fator decisivo para a escolha do controle à nível de metas mensais, e não de sequência executiva. Neste sentido, não foi possível identificar princípios *Lean* – como *Takt-Time*, fluxo contínuo e produção puxada – nos cronogramas da empresa no cenário 1, visto que as planilhas não exibiam os fluxos de trabalho.

As figuras 12 e 13 ilustram a planilha que contém o gráfico de Gantt da obra. A primeira mostra o gráfico completo, e, pela característica extensa do método (que mostra todas as atividades no eixo vertical), se torna ilegível. Neste sentido, a figura 13 representa uma visão ampliada para melhor visualização das características do cronograma. As figuras 14 e 15 representam o mês 19 da obra e exemplificam as planilhas de detalhamento mensal, que mantêm a mesma estrutura. Da mesma forma que as anteriores, a primeira figura representa a planilha completa, tornando-se assim ilegível, e a segunda, portanto, consiste em uma ampliação para facilitar a visualização.

Figura 12 - Gantt completo da obra



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 13 - Gantt ampliado para melhor visualização

Item	Descrição	Unid	Qt. Total	Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$)	Mês 01	Mês 02	Mês 03	Mês 04	Mês 05
1 12 TORRES						22.320.460,44				
SERVIÇOS PRELIMINARES E GERAIS						38.955,79				
01.01.01	Locação Topográfica da Obra	dia	12,00	1.200,00	14.400,00	16,67%	16,67%			
01.01.02	Locação do Prédio (Tabela)	m2	4.873,44	5,04	24.555,79		16,67%	16,67%		
FUNDAÇÃO						2.557.847,23				
ESTACAS						1.521.844,25				
01.02.01.01	Estaca Tipo Hélice DN 40cm	m	19.260,00	79,02	1.521.844,25	0,67%	30,17%	2,50%		
VIGA BALDRAME E BLOCO DE FUNDAÇÃO						1.036.002,98				
01.02.02.01	Escavação Manual de Vala até 2 m de Profundidade	m3	1.928,88	29,00	55.937,52		4,17%	29,17%		
01.02.02.02	Apilamento fundo de cavas	m2	1.952,55	4,00	7.810,20		4,17%	29,17%		
01.02.02.03	Lastro de brita nº1	m3	39,05	101,40	3.959,60		4,17%	29,17%		
01.02.02.04	Fôrma p/ Viga Baldrame e Blocos de Fundação em chapa compen	m2	5.961,24	24,58	146.497,76		4,17%	29,17%		
01.02.02.05	Armação em Aço CA-50 para Blocos e Vigas Baldramas	kg	58.135,18	4,60	267.509,04				33,33%	
01.02.02.06	Concreto FCK 25,0 MPA para Blocos e Vigas Baldramas	m3	1.110,38	279,40	310.240,40				33,33%	
01.02.02.07	Reaterro Compactado de Solo	m3	919,44	35,00	32.180,40				33,33%	
01.02.02.08	Bota-fora carga manual de Solo	m3	1.312,27	40,00	52.490,80				33,33%	
01.02.02.09	Alvenaria embasamento bloco concreto 14x19x29cm	m2	811,30	63,12	51.118,92				33,33%	
01.02.02.10	Impermeabilização de Fundação com chapisco Arg. Imperm. Esp.	m2	10.347,26	10,45	108.358,33				33,33%	
SUPER ESTRUTURA						7.414.791,12				
ESTRUTURA DE CONCRETO						115.019,70				
01.03.01.01	Fôrma p/ estrutura geral em chapa compensada plastificada 14 m	m2	956,19	45,13	43.150,23			25,00%		4,17%
01.03.01.02	Armação em Aço CA-50/60 para Estrutura em Geral	kg	9.489,27	4,38	41.592,84			25,00%		4,17%
01.03.01.03	Concreto FCK 25,0 MPA para Estrutura em Geral	m3	103,09	238,14	24.549,97			16,67%		8,33%
01.03.01.04	Regularização de Superfície de Concreto (Estuque) de Pilares e vig.	m2	103,09	4,35	448,44			16,67%		8,33%
01.03.01.05	Escoramento Metálico para Estrutura	m2	382,48	13,80	5.278,22			16,67%		8,33%

Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 14 - Planilha completa do mês 19

Eixo Horizontal
Localizações

Bloco 3 Bloco 4 Bloco 7 Bloco 8

Eixo vertical
Serviços previstos para a obra

Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 15 - Planilha do mês 19

Item	Descrição	1º SS	Térreo	1º	2º	3º	Cobertura
01.04	INSTALAÇÕES						
01.04.01	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS/TELEFÔNICA/PARA RAIOS						
01.04.01.01	Eletrodutos, conexões, buchas e arruelas	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
01.04.01.02	Caixas de PVC para Paredes e Lajes	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
01.04.01.03	Fios e Cabos	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
01.04.01.04	Quadro de Distribuição	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	
01.04.01.05	Tomadas e Interruptores						
01.04.02	INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS/GÁS/INCÊNDIO						
01.04.02.01	Instalação de Água Fria	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
01.04.02.02	Instalações de Gás	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	
01.04.02.03	Instalação de Esgoto	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	
01.04.02.04	Execução de Rede de Água Pluvial em Tubos de PVC	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	
01.04.03	INSTALAÇÕES COMPLEMENTARES						
01.04.03.01	Interfone	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	

Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

4.2.2 Cenário 2

O segundo cenário, no qual a empresa passa a utilizar a LOB, mas sem conhecimento de *Lean Construction*, começa em outubro de 2020 e se prolonga até maio de 2023. Contudo, como visto anteriormente, o primeiro cenário durou mais de 22 anos. Dessa maneira, era esperado que houvesse um período de adaptação, no qual a empresa abandona o planejamento antigo e passa a utilizar uma ferramenta nova. Sob esta óptica, o segundo cenário foi dividido em 4 fases: projetos de 2020, 2021, 2022 e 2023. Em cada uma delas, foram selecionados dois projetos para estudo. Assim, foi possível verificar não somente a mudança do Cenário 1 para o Cenário 2, como também a adaptação da empresa ao novo método de planejamento.

4.2.2.1 Fase 1 (2020)

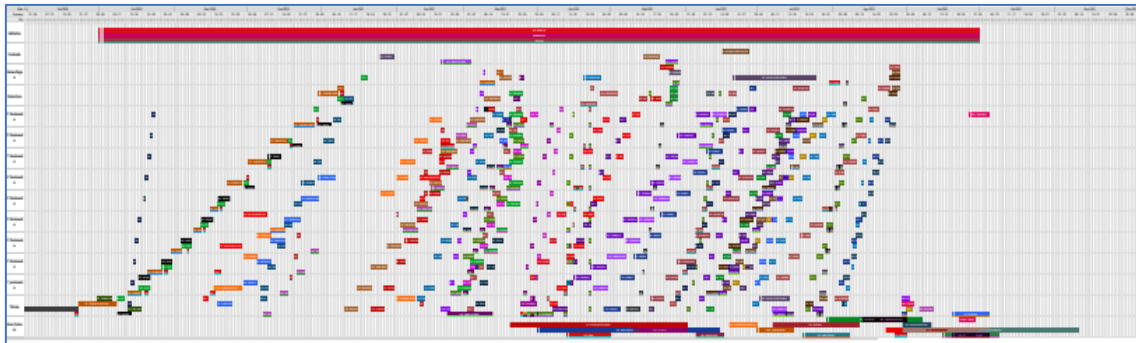
A Fase 1 foi o ponto no qual a empresa conheceu a LOB e aprendeu a utilizar o *software* de planejamento para aplicá-la. Projetos nessa fase eram predominantemente passagens de dados do método anterior para o novo, e não planejamentos elaborados na própria LOB.

4.2.2.1.1 Projeto 1

O primeiro projeto é de uma edificação vertical de torre única e foi elaborado no dia 20 de outubro de 2020. A Linha de Balanceamento completa da obra (figura 16) expõe a quase inexistência dos princípios *Lean* no planejamento. O fluxo de atividades é frequentemente quebrado por folgas longas e desnecessárias. Não há constância de equipes trabalhando – há dias com diversas atividades executadas simultaneamente e

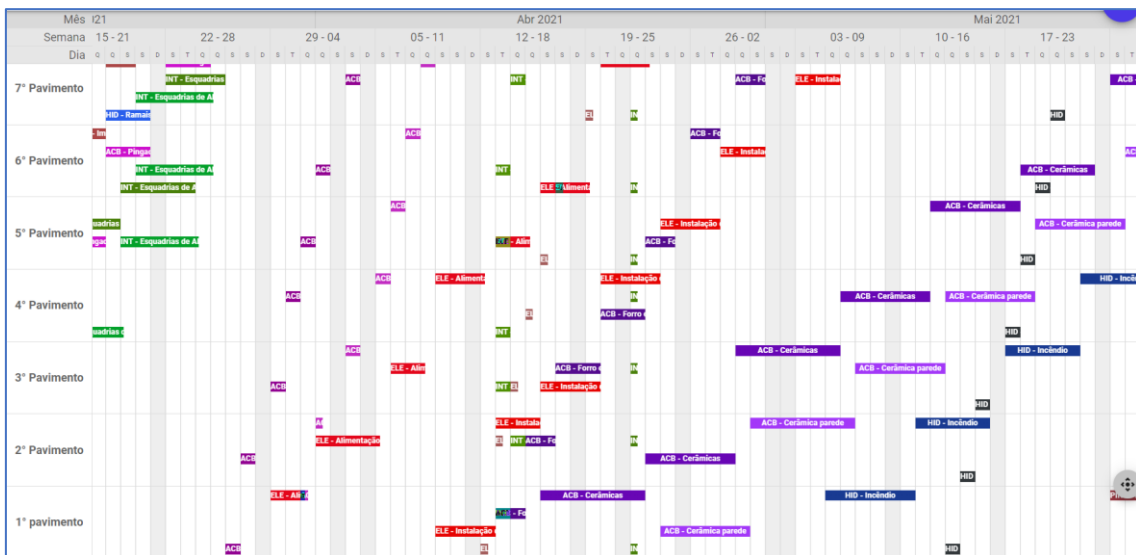
outros com quase nenhuma. Em visão detalhada (figura 17), os ritmos das atividades se mostraram inconstantes. Por um lado, a automatização de lançamento da mesma atividade em diferentes lotes, proporcionada pelo *software*, reduziu a sua variabilidade: a maioria das atividades manteve a duração constante ao longo de todos os pavimentos. Por outro, não houve padronização no ritmo de atividades diferentes sequenciadas (*Takt-Time*), situação que gerou folgas por falta de frente de trabalho e de mão de obra.

Figura 16 – Projeto 1, fase 1 – LOB



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 17 - Projeto 1, fase 1 – Descontinuidade de fluxo e ritmos despadronizados



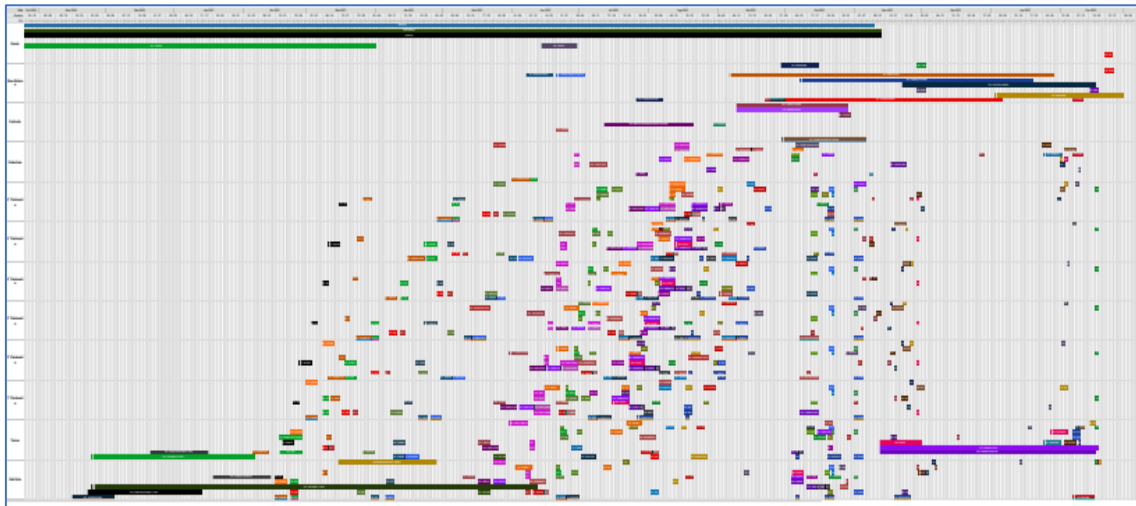
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.1.2 Projeto 2

O segundo projeto (figura 18) também foi elaborado no dia 20/10/2020. Ele compartilha as mesmas características do anterior: construção vertical de torre única, cujo planejamento apresenta quebra de fluxos, inconstância de volume de trabalho e

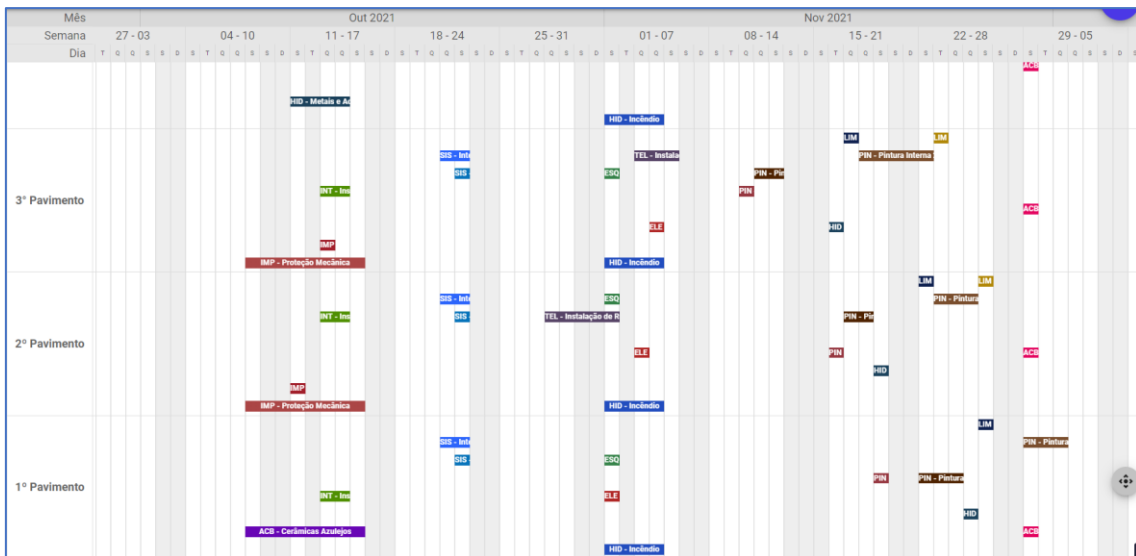
padronização de ritmos entre atividades iguais – mas não entre diferentes (figura 19). Ainda, os períodos com maior volume de atividades (figura 20) apresentam alta complexidade de projeto, com até oito atividades simultâneas em um mesmo pavimento.

Figura 18 - Projeto 2, fase 1 - LOB



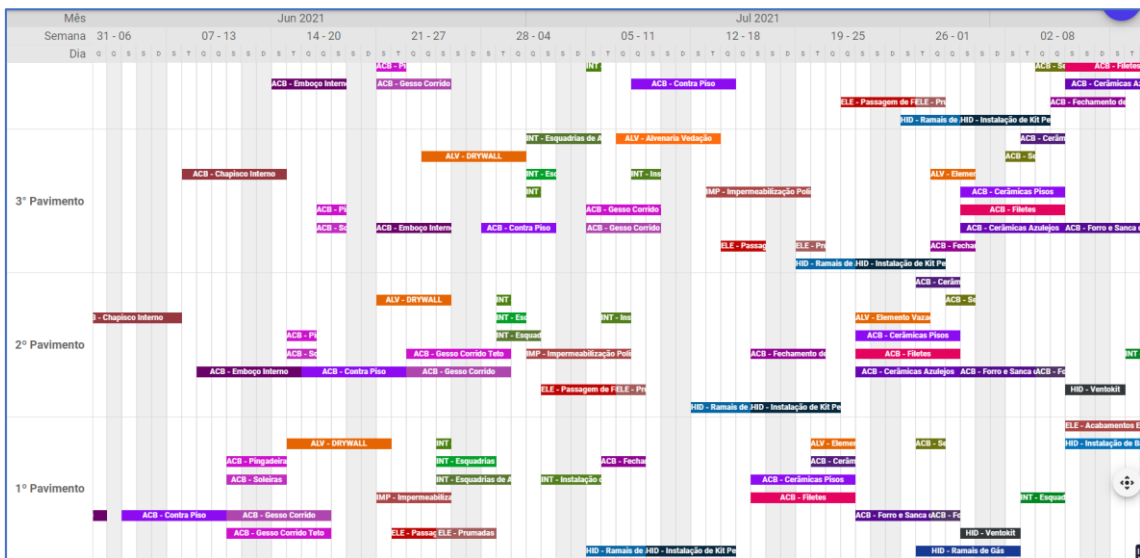
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 19 - Projeto 2, fase 1 – Descontinuidade de fluxo e ritmos não padronizados



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 20 - Projeto 2, fase 1 – Complexidade do projeto



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.1.3 Conclusão da fase 1

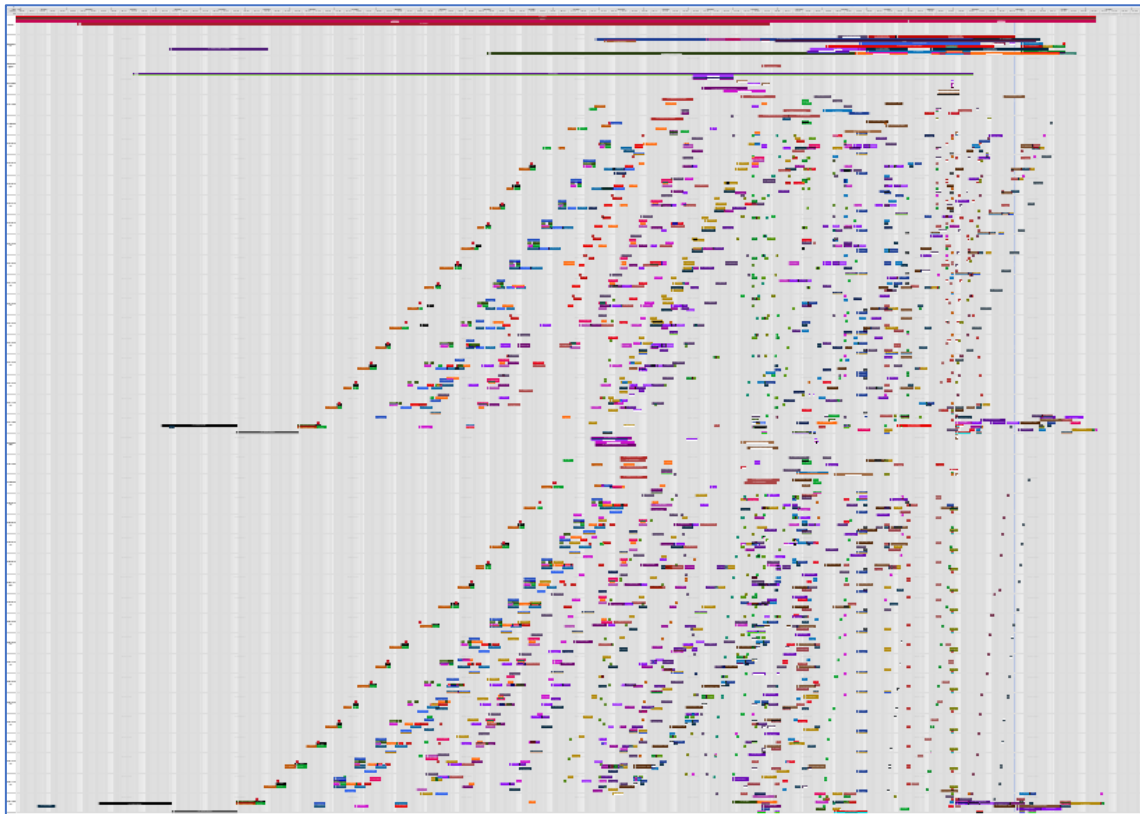
Como exposto anteriormente, a fase 1 consistiu em um período de transição e seus projetos eram passagens de dados das planilhas eletrônicas para a LOB. Tendo em vista esse caráter transitório, essa fase revelou problemas nos cronogramas elaborados em Gantt, os quais antes não eram tão facilmente identificáveis, visto que o planejamento era realizado a nível mensal e não detalhava os fluxos de atividades. Esses problemas, no entanto, não foram corrigidos e se mantiveram presentes nos projetos de 2020. De maneira geral, percebe-se a quase ausência dos princípios *Lean* nos primeiros meses de utilização da LOB. Algumas melhorias observadas no contexto *Lean* foram a melhoria na visualização total do projeto em comparação aos gráficos de Gantt e a remoção da variabilidade entre o ritmo das mesmas atividades em diferentes pavimentos, que foi resultado da automatização do lançamento de serviços disponibilizada pelo *software* da Prevision.

4.2.2.2 Fase 2 (2021)

4.2.2.2.1 Projeto 1

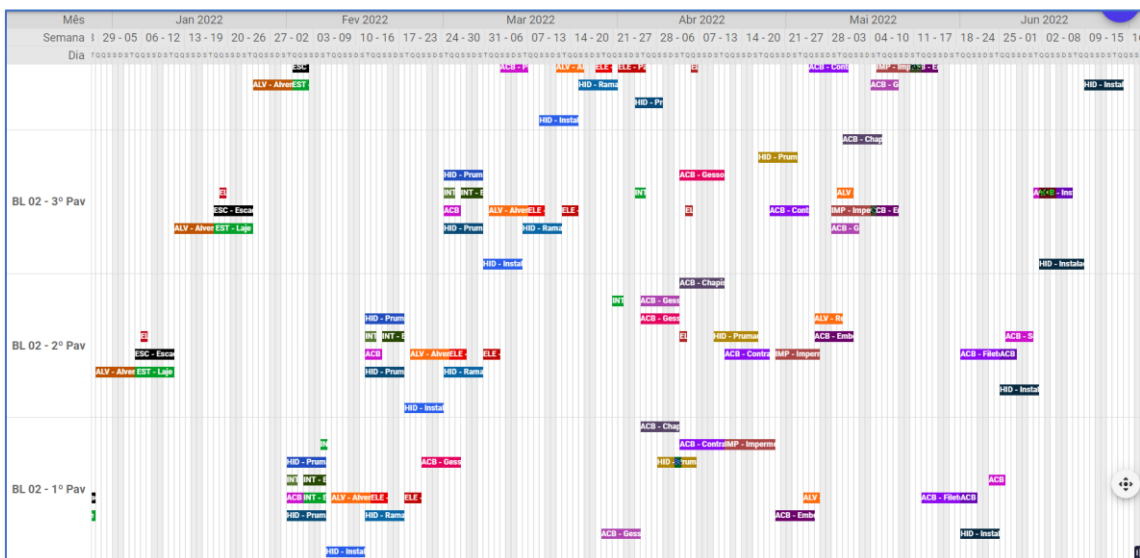
O primeiro projeto (figura 21) da segunda fase data 16/06/2021. Este difere dos anteriores por ser de duas torres, executadas simultaneamente. Entretanto, não se observa evolução quanto à aplicação dos princípios *Lean*, visto que todos os problemas apontados nos dois projetos anteriores se mantiveram: quebras de fluxo, inconstância de *Takt-Time* (figuras 22 e 23) e complexidade elevada do projeto (figura 22).

Figura 21 - Projeto 1, fase 2 - LOB



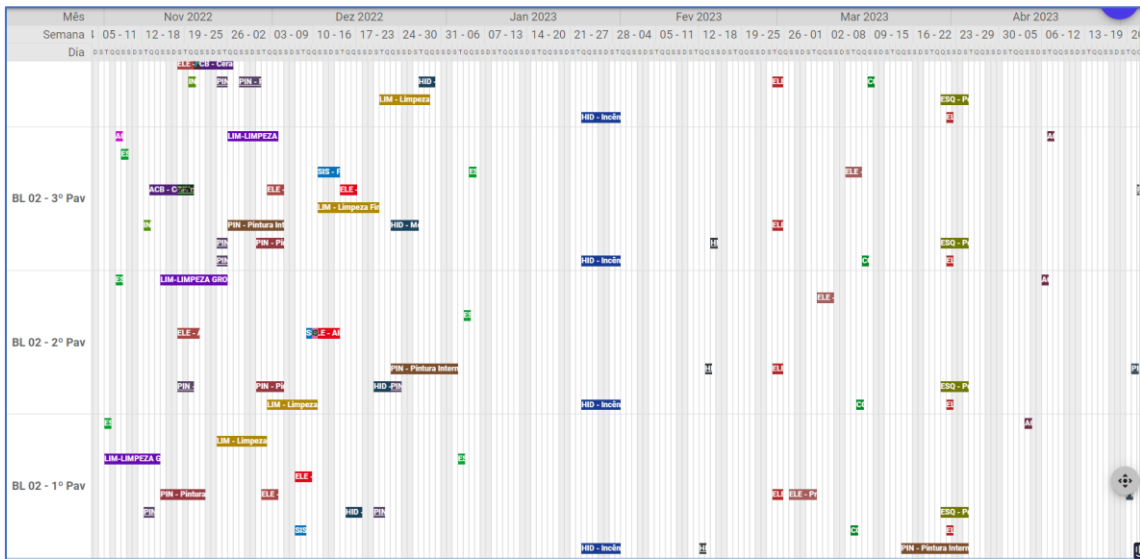
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 22 - Projeto 1, fase 2 – Complexidade elevada do projeto



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 23 - Projeto 1, fase 2 – Descontinuidade de fluxo e ritmos não padronizados

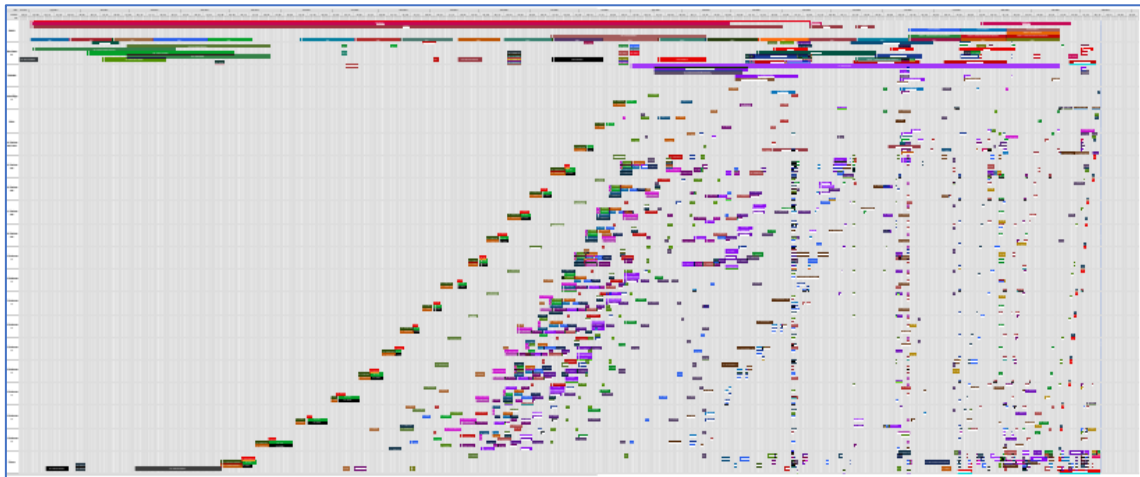


Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.2.2 Projeto 2

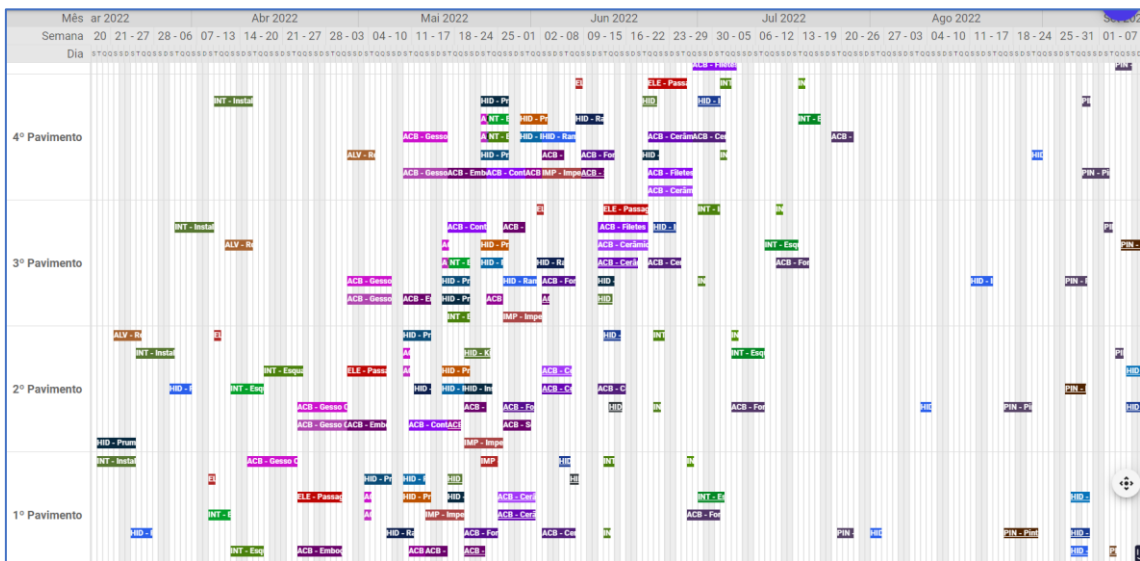
Feito em 14/09/2021, o segundo projeto da fase 2 (figura 24) volta ao padrão de torre única e consiste no primeiro a demonstrar evolução na aplicação dos princípios *Lean*. No período em que ocorre a sequência executiva principal dos serviços internos (figura 25), desde a regularização da alvenaria e instalações até os acabamentos de gesso e cerâmica, o fluxo se mantém contínuo pela maior parte do tempo e os ritmos das atividades têm menor divergência entre si (predominantemente de 5 dias, com exceções de 3, 4 e 6). Entretanto, o projeto ainda apresenta complexidade elevada, com a presença de diversos processos que não agregam valor ao produto, visto que há vários dias com até sete atividades simultâneas em um mesmo lote. Além disso, o tempo restante de obra (figura 26) é pouco eficiente, com longas folgas entre as atividades, o que resulta em grande aumento do *lead time*.

Figura 24 - Projeto 2, fase 2 - LOB



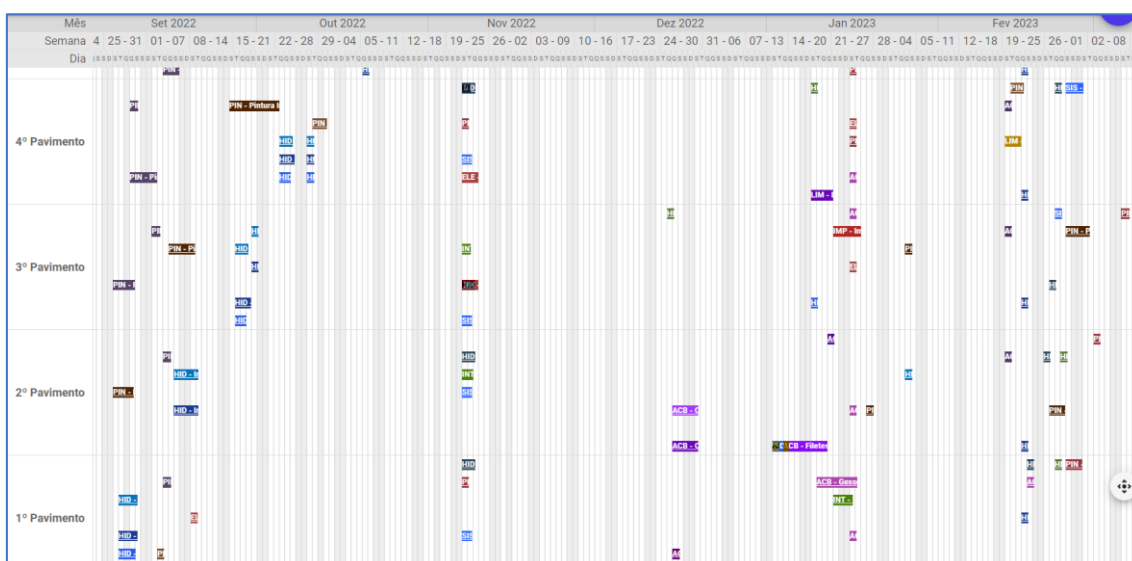
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 25 - Projeto 2, fase 2 - Continuidade de fluxo e complexidade elevada do projeto



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 26 - Projeto 2, fase 2 - Descontinuidade de fluxo



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.2.3 Conclusão da fase 2

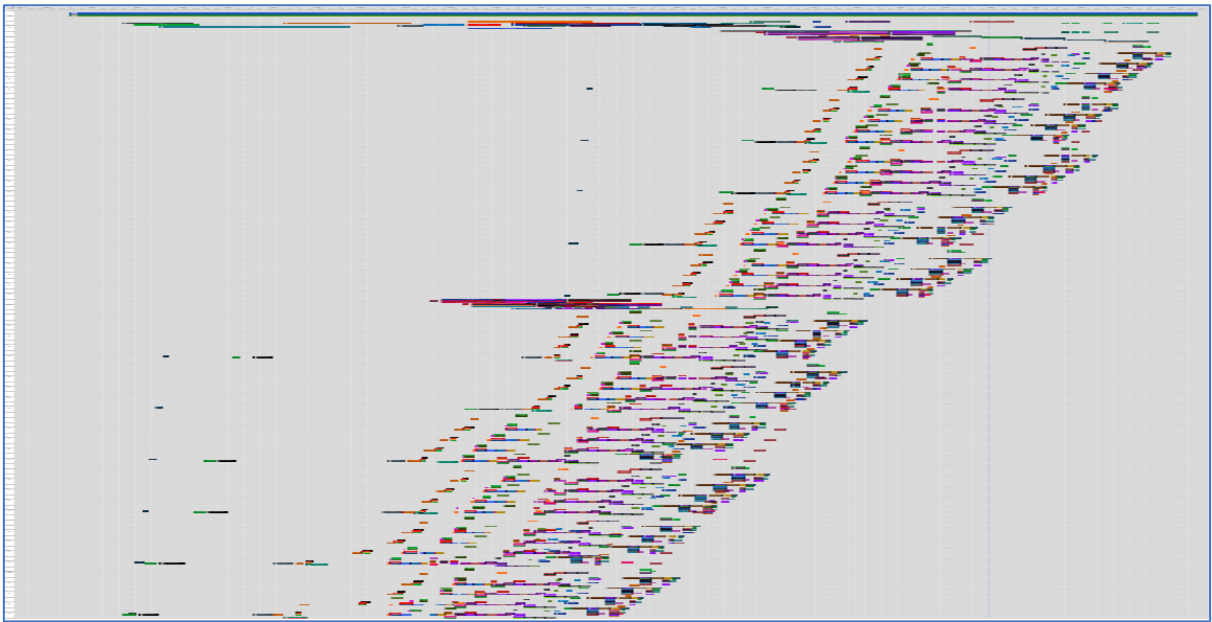
A partir da análise da segunda fase, foi possível verificar a adaptação da empresa à nova ferramenta de planejamento. No primeiro semestre do ano, com fim em junho, no Projeto 1, os resultados ainda eram muito semelhantes aos do ano anterior, o que mostra que a LOB ainda tinha como principal objetivo representar graficamente o planejamento padrão executado pela empresa há anos. Contudo, no segundo semestre, o projeto 2 amenizou alguns dos problemas apresentados nos três anteriores. Ainda que se mantiveram pontos a serem melhorados, ele expôs algumas ações tomadas pela empresa baseadas na visualização introduzida pela LOB.

4.2.2.3 Fase 3 (2022)

4.2.2.3.1 Projeto 1

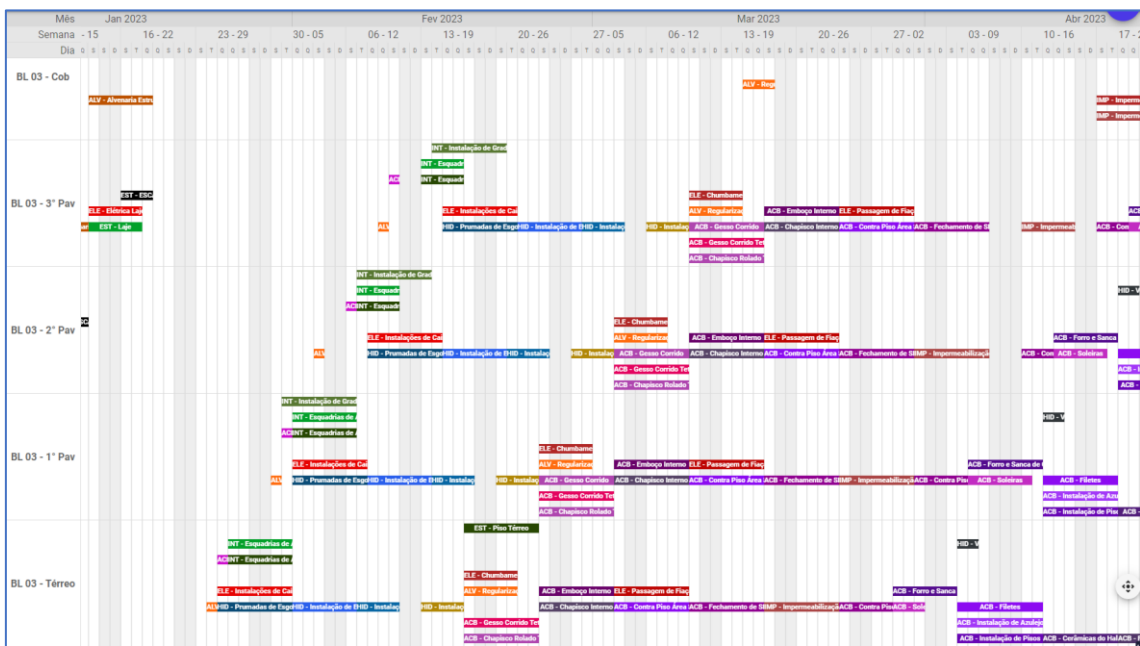
O primeiro projeto de 2023 (figura 27), realizado em 31 de março, confirma o pressuposto apresentado na fase anterior de que a empresa percebeu, por meio da LOB, diversas falhas no seu planejamento e se propôs a corrigi-las. O aumento da eficiência no fluxo principal por meio da redução das folgas entre atividades estendeu-se para todo o projeto, e estas folgas se reduziram àquelas geradas pela diferença de ritmo de algumas atividades. O volume de atividades tornou-se mais bem distribuído ao longo do tempo e, dessa forma, têm fim os longos períodos de inatividade que ocorriam nos projetos anteriores (figura 28). A complexidade do projeto, no entanto, continuou elevada, com semanas que só uma atividade ocorre por lote e outras com até oito (figura 29).

Figura 27 - Projeto 1, fase 3 - LOB



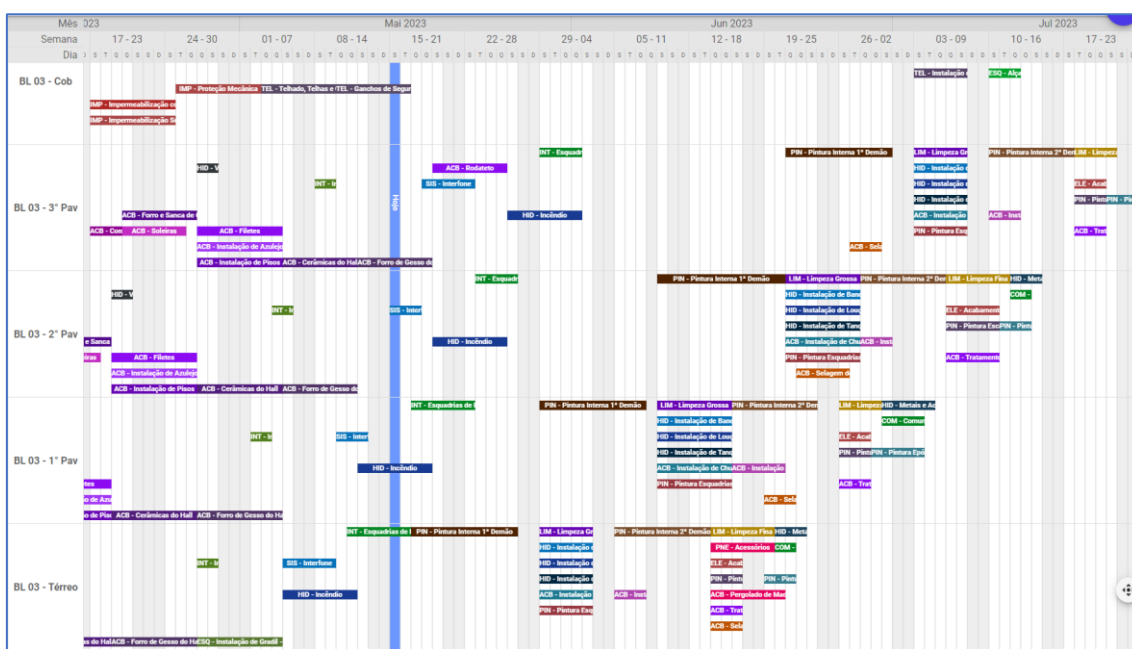
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 28 - Projeto 1, fase 3 - Continuidade de fluxo



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 29 - Projeto 1, fase 3 – Complexidade elevada do projeto

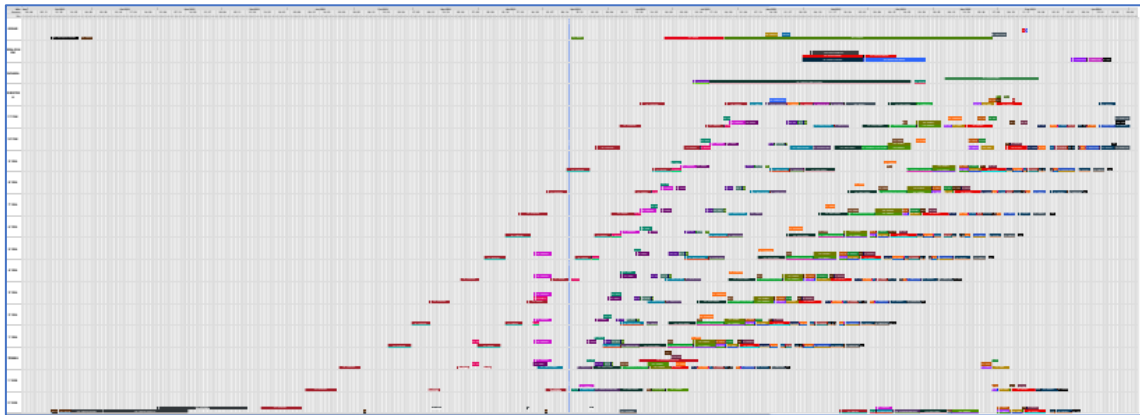


Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.3.2 Projeto 2

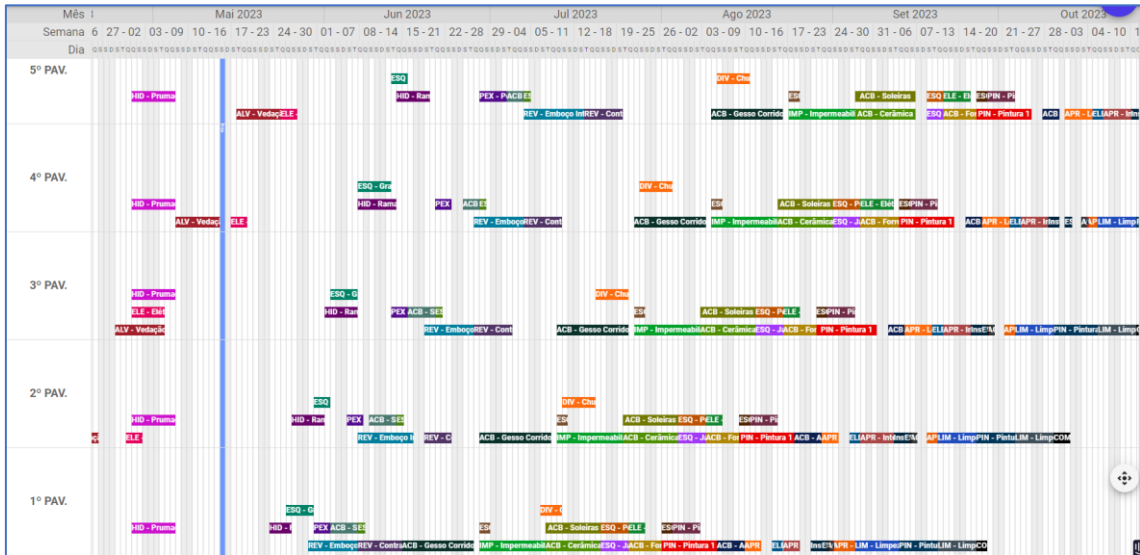
O segundo projeto de 2022 (figura 30), elaborado em 24 de outubro, manteve as melhorias de continuidade de fluxo e distribuição do volume de trabalho apresentadas no anterior. Além disso, foi o primeiro a apresentar simplificação do projeto, limitando-se a duas atividades simultâneas, com poucos dias contendo três (figura 31). O ritmo das atividades, no entanto, mostrou um problema ainda não identificado pela construtora: folga por falta de frente de trabalho (figura 32). Quando uma atividade é seguida por outra mais longa, gerando folga por falta de mão de obra, esse fenômeno fica visualmente exposto na LOB por meio de longos espaços vazios. Entretanto, quando o contrário acontece, e as atividades mais longas vêm primeiro, as folgas ficam “escondidas” no fluxo contínuo. No projeto analisado, o acabamento com gesso corrido, que dura 9 dias por pavimento, é seguido por outras atividades com durações menores, de 1, 2 ou 3 dias. Como consequência, as equipes responsáveis pelas atividades com *takt* menor ficavam ociosas, sem frente de trabalho.

Figura 30 - Projeto 2, fase 3 - LOB



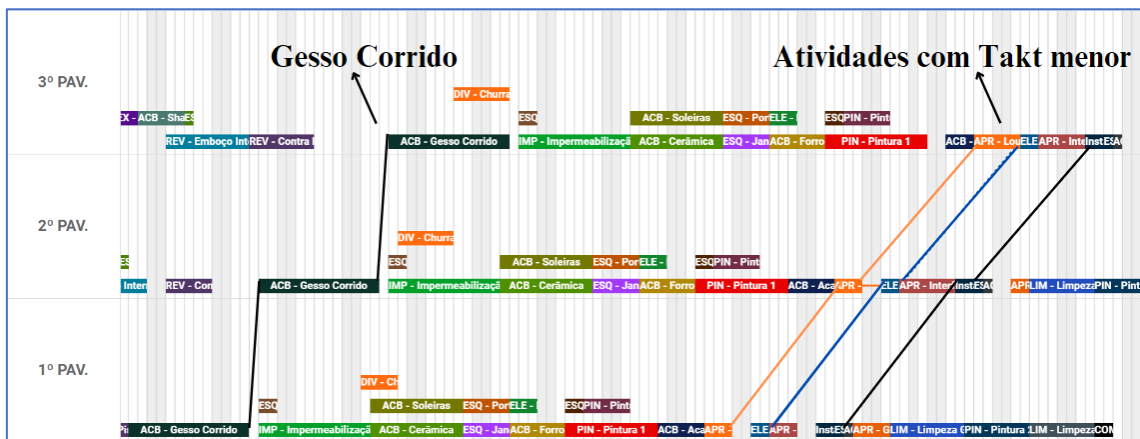
Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 31 - Projeto 2, fase 3 - Continuidade de fluxo



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 32 - Projeto 2, fase 3 - Folga por falta de frente de trabalho



Fonte: Autor

4.2.2.3.3 Conclusão da fase 3

A terceira fase demonstrou na LOB um importante princípio *Lean*: a melhoria contínua, ou *kaizen*. Esta fase, além de confirmar a hipótese apresentada na fase anterior de que a empresa notou as falhas nos seus cronogramas e se propôs a corrigi-las, mostrou que esse comportamento se tornaria constante. Ainda que persistam aspectos a serem melhorados – como a padronização total dos ritmos das atividades para evitar folgas por falta de frente de trabalho – a cada novo projeto problemas apresentados nos anteriores foram corrigidos ou amenizados. O fluxo contínuo ao longo da maior parte do cronograma em ambos os projetos resultou em um planejamento mais enxuto em relação às fases anteriores – obras de porte semelhante obtiveram redução de até dois meses na sua execução em relação ao período anterior à implementação da LOB.

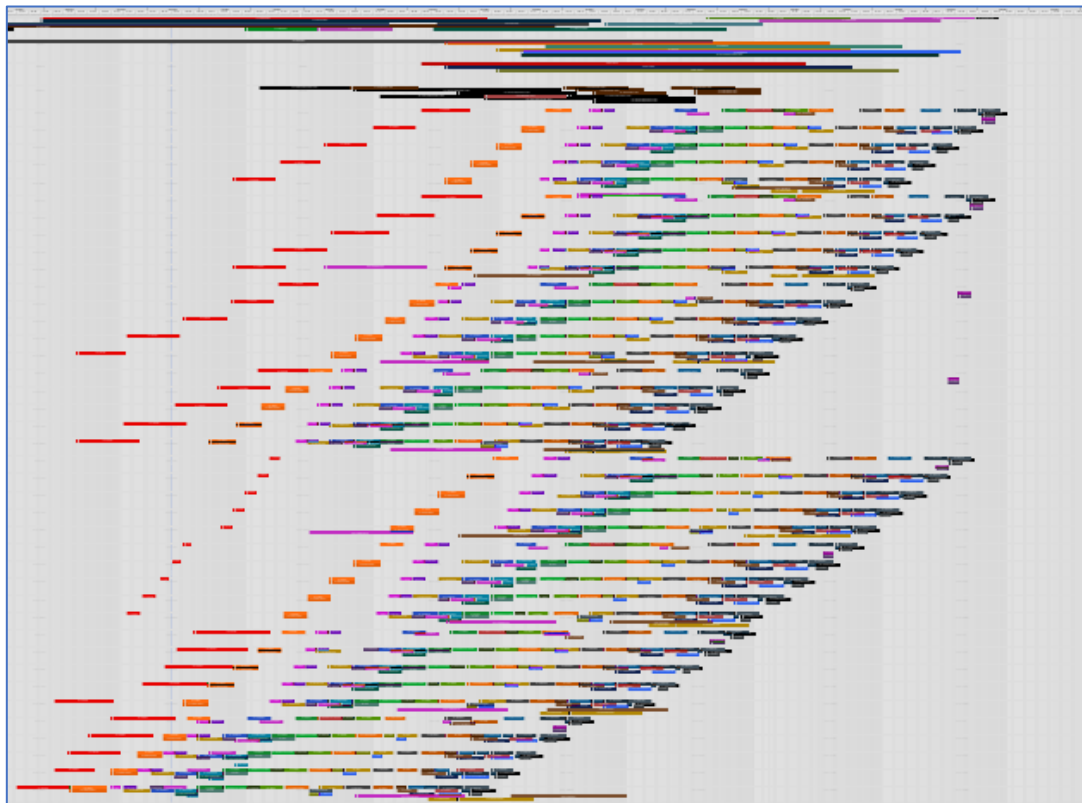
4.2.2.4 Fase 4 (2023)

4.2.2.4.1 Projeto 1

Elaborado em fevereiro de 2023, o primeiro projeto (figura 33) manteve as inovações das fases anteriores e otimizou ainda mais o planejamento da empresa. A simplificação do projeto por meio da eliminação das atividades que não agregam valor foi mantida. A etapa de instalações de itens internos aos apartamentos, por exemplo, era anteriormente composta por 4 atividades simultâneas: limpeza grossa, instalação de bancadas, instalação de louças e instalação de tanques – todas com ritmo de 5 dias úteis. Agora, por meio da mudança de projeto e realocação de equipes, essa mesma etapa é composta por apenas uma atividade chamada louças e bancadas, com duração de 3 dias úteis, e a limpeza grossa é feita em momento posterior para evitar retrabalho. O fluxo é contínuo ao longo de toda a execução principal (figura 34), mas agora sem folgas por

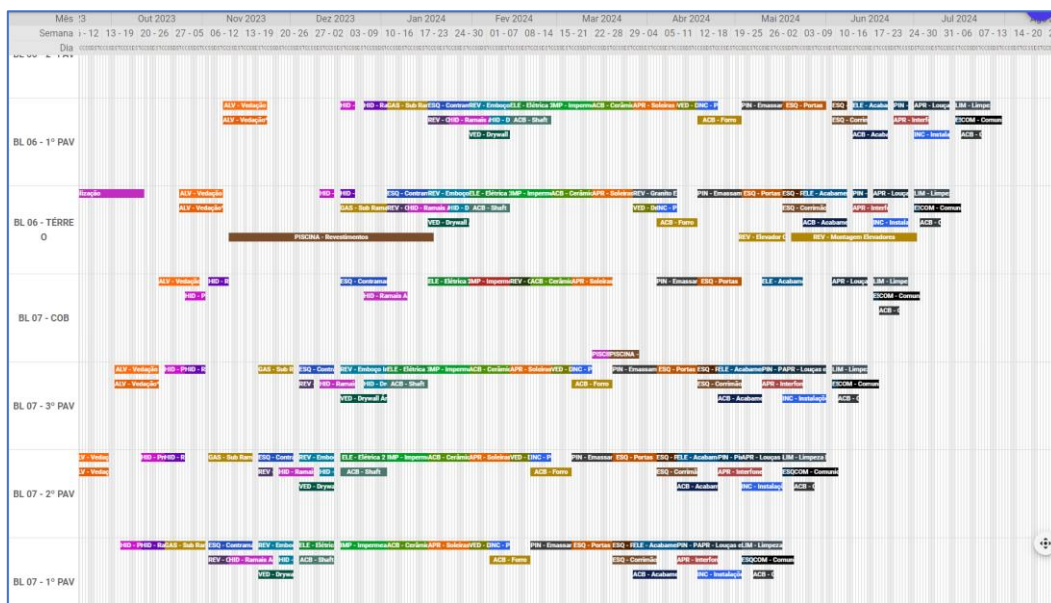
falta de frente de trabalho. Ainda, o *takt-time* foi padronizado ao longo desse período e as atividades que mantiveram diferença de ritmo são de áreas comuns, como piscinas e pátios, e assim são executadas paralelamente ao fluxo principal e não são críticas ao planejamento.

Figura 33 - Projeto 1, fase 4 - LOB



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 34 - Projeto 1, fase 4 - Fluxo contínuo com takt padronizado

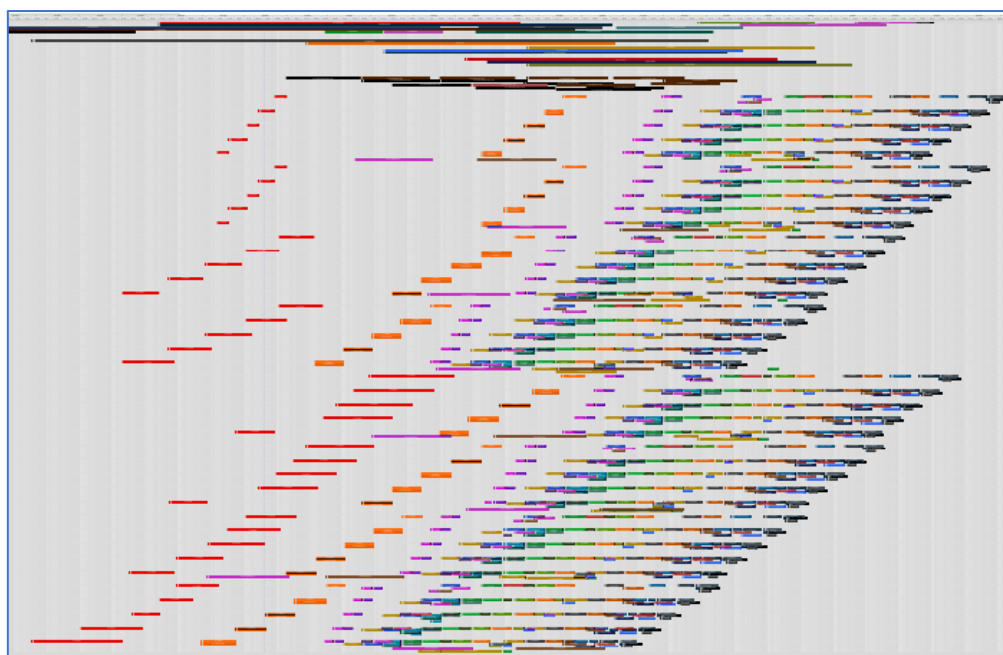


Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.4.2 Projeto 2

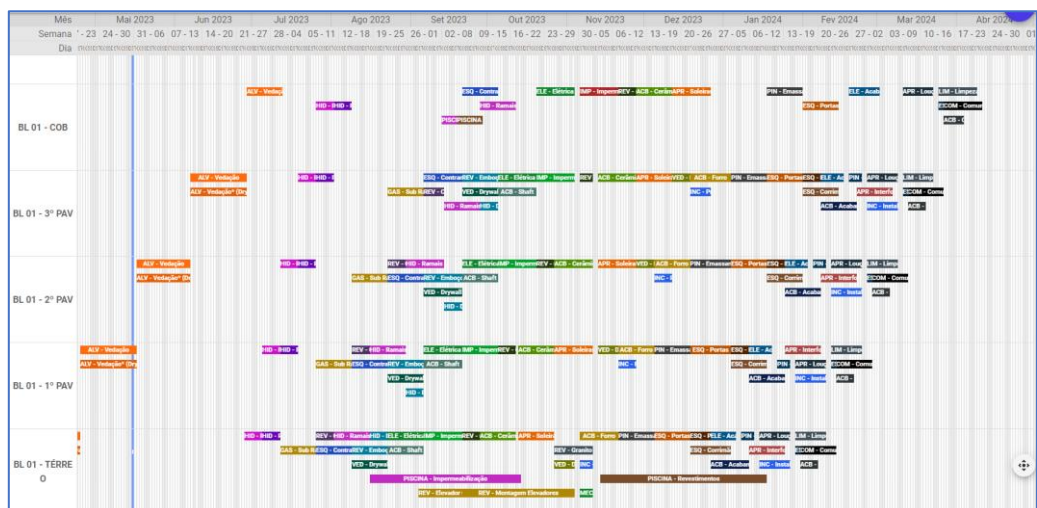
O segundo projeto de 2023 (figura 35), elaborado em março, tem estrutura muito semelhante ao anterior. Também de torre dupla, trouxe as mesmas melhorias apresentadas (figura 36), e são poucas as diferenças entre os dois projetos.

Figura 35 - Projeto 2, fase 4 - LOB



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

Figura 36 - Projeto 2, fase 4 - Continuidade de fluxo e padronização do takt



Fonte: Disponibilizado pela empresa, Software da Prevision

4.2.2.4.3 Conclusão da fase 4

A quarta fase reforçou a melhoria constante apresentada pela empresa após a adoção do método da LOB. Foram mantidas as melhorias apresentadas nas fases anteriores – como a redução da complexidade do projeto e a implementação do fluxo contínuo – e ajustadas as suas falhas – eliminação das folgas por falta de frente de trabalho, por exemplo – o que resultou em cronogramas ainda mais eficientes e enxutos. Além disso, esse período revelou a iniciativa da empresa de padronizar o produto, de forma a reduzir a variabilidade na produção. Em nenhuma outra fase ambos os projetos apresentaram tanta semelhança em suas estruturas.

4.2.2.5 Conclusão do cenário 2

A partir das análises anteriores, infere-se que a LOB é uma ferramenta que detém os princípios *Lean*. A empresa substituiu o método de planejamento sem ter conhecimento de *Lean Construction*, e ao longo do período de pouco mais de dois anos, diversos dos princípios desta filosofia surgiram nos cronogramas da empresa - o que não aconteceu nos 22 anos de utilização de Gantt em planilhas eletrônicas. Assim, conclui-se que a LOB não é apenas uma ferramenta na qual é possível aplicar os princípios *Lean*, mas ela própria é detentora destes princípios.

A tabela a seguir (tabela 2) resume os princípios *Lean* observados ao longo do cenário dois, e contextualiza-os cronologicamente.

Quadro 2 - Princípios Lean na LOB

PRINCÍPIOS <i>LEAN</i>	FASE NO QUAL FOI INTRODUZIDO
Redução da variabilidade entre as repetições de mesmos serviços	Fase 1, resultado da automatização do lançamento de atividades oferecida pelo software
Fluxo Contínuo	Iniciou no final da fase 2, aperfeiçoado ao longo das outras. Consolidado a partir da fase 3
<i>Takt-time</i>	Houve redução na diferença de tempo entre as atividades no final da fase 2, mas só começou a ser padronizado no início da fase 4
Simplificação do projeto, por meio da redução de atividades que não agregam valor	Final da fase 3
Padronização do trabalho	Fase 4
<i>Kaizen</i>	Presente em todas as fases

Fonte: Autoral

4.2.3 Cenário 3

A consultoria de *Lean* teve o objetivo de mudar toda a postura da empresa em relação aos seus processos. Assim, o treinamento não impactou apenas o cronograma, mas também o canteiro de obras. Neste sentido, o terceiro cenário foi dividido em dois tópicos: mudanças *in loco* – aquelas que influenciaram no canteiro de obras – e mudanças no planejamento.

4.2.3.1 Mudanças *in loco*

Os consultores fizeram uma visita técnica à obra selecionada acompanhados dos representantes da empresa, com o objetivo de identificar e corrigir situações que geravam um ou mais dos oito desperdícios do *Lean*, listados na seção dois do capítulo dois. A primeira problemática encontrada foi na central de armação, que apresentava alta desorganização e era distante do local de utilização do material (figura 37), situação que resultava em desperdícios de movimentação, transporte e espera. Ao longo de um dia, a central foi monitorada por meio da medição do tempo que cada funcionário demandava

para encontrar o material específico a ser utilizado em cada serviço. No fim do dia, foi realizado uma média aritmética de todos os tempos cronometrados, que resultou em 1 minuto e 39 segundos. Nesse sentido, a central foi reorganizada e realocada para mais perto dos pontos onde o aço era mais utilizado na obra (figura 38). Ademais, foram identificados os diferentes tipos e bitolas com placas para facilitar a localização dos diferentes materiais. Após as mudanças, foi realizado outro monitoramento da mesma maneira que o anterior. O resultado da nova média foi de 42 segundos, o que representou um ganho de quase 60% na produtividade dos funcionários no processo de procurar e selecionar o material adequado.

Figura 37 - Central de aço antes das alterações



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 38 - Central de aço após as alterações



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

De maneira semelhante ao que foi feito na central de aço, o almoxarifado da obra também passou por uma reformulação. Os materiais eram alocados sem regra de organização (figura 39) e não havia quantitativo real e mínimo, o que dificultava o controle dos itens. Por consequência, os trabalhadores relatavam demora na entrega e constante falta de materiais e ferramentas, quadro que gerava desperdício por espera. Um cálculo feito antes da reformulação, por meio de uma medição semelhante à realizada para a central de aço, resultou num total de 58,1 entregas por hora, cada uma com duração média de 1 minuto e 2 segundos. No cálculo, as entregas foram consideradas todos os materiais retirados do almoxarifado para utilização em serviços, e a duração levou em consideração o tempo desde a chegada do funcionário até a sua saída com o material. Para aumentar a eficiência do almoxarifado, foi feito um mapa com o seu *layout*, os itens foram organizados em locais específicos sinalizados com placa de indicação e os quantitativos passaram a ser controlados (figura 40). Após as mudanças, uma nova medição constatou 150 entregas por hora, cada uma com duração de, em média, 24 segundos. Assim, o tempo de entrega foi reduzido em mais de 60%, enquanto as entregas foram quase triplicadas.

Figura 39 - Almoxarifado antes das mudanças



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 40 - Almoxarifado após as mudanças



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Na sequência, foram identificados dois pontos críticos que geravam desperdício de tempo na movimentação dos funcionários e traziam riscos de segurança. O primeiro era uma ponte executada inadequadamente e o segundo uma altura elevada entre o piso e o primeiro degrau, que existia porque o térreo ainda não havia sido concretado (figura 41). Com finalidade de evitar acidentes e otimizar o transporte de materiais e movimentação dos funcionários, a ponte foi refeita, com a adição de um guarda-corpo de madeira, e foram colocados degraus improvisados enquanto a concretagem não era realizada (figura 42).

Figura 41 - trajetos inadequados



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 42 - Trajetos após as melhorias



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Por fim, foram reorganizadas as aduelas no canteiro, que estavam desorganizadas desde a execução da drenagem externa (figura 43). Com o intuito de organizar a obra e aumentar a eficiência dos serviços que dependiam delas, as aduelas foram organizadas

por diâmetro e as localizações escolhidas para a armazenagem foram os pontos mais próximos do local de aplicação, de forma que o fluxo das diferentes equipes de trabalho não fosse comprometido (figura 44).

Figura 43 - aduelas após a drenagem externa



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 44 - aduelas reorganizadas



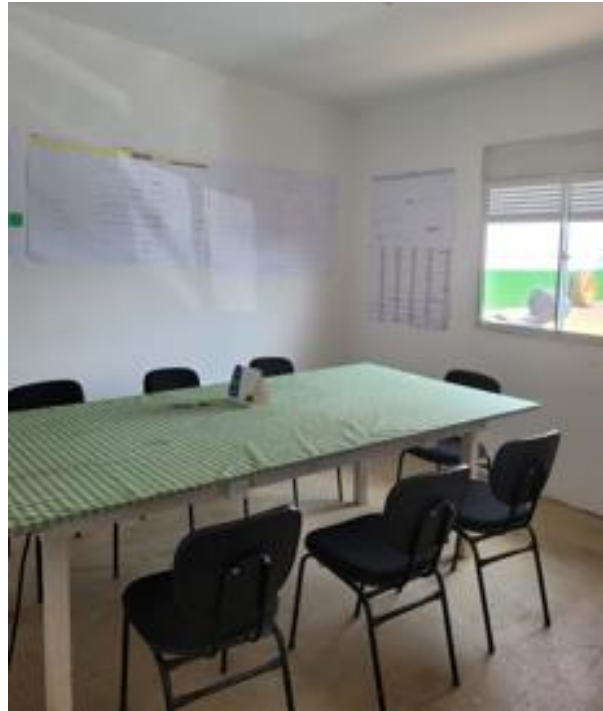
Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Ainda, outras duas melhorias já foram mapeadas, mas ainda estão no processo de implementação. A primeira é a adição de um novo banheiro mais próximo à torre onde a maior parte do trabalho é realizado. Anteriormente, o único banheiro era localizado próximo à entrada do canteiro de obras, que fica a cerca de 7 minutos da torre. Assim, todos os funcionários perdiam 14 minutos de tempo de trabalho toda vez que precisavam ir ao banheiro, sem contar o tempo de descer da torre. Com a implementação do novo banheiro próximo à torre, o tempo de movimentação será reduzido à descida do pavimento no qual os serviços estão sendo executados até o térreo. A segunda melhoria será a adição de uma central de corte para os blocos de alvenaria, que serão cortados de acordo com o projeto. Previamente, os próprios pedreiros realizavam o corte durante a execução dos serviços de alvenaria, o que levava ao desperdício de tempo e material, uma vez que os cortes eram feitos manualmente, e, desse modo, sem muita precisão. Com a central, os funcionários poderão focar apenas na execução das paredes e os blocos serão cortados com mais precisão – a eficiência de ambos os serviços, portanto, será maior.

4.2.3.2 Melhorias no planejamento

A primeira proposta de melhoria para o setor de planejamento apresentada na consultoria foi a democratização das reuniões de planejamento semanal executadas pela empresa. No passado, apenas participavam os gestores da construtora e os donos das empreiteiras responsáveis pela mão de obra (figura 45). Com o intuito de reduzir o desperdício intelectual dos funcionários, a proposta, que foi acatada pela empresa, foi de trazer toda a mão de obra para essas reuniões (figura 46). Essa mudança resultou em maior alinhamento entre gestão e mão de obra e cumprimento mais frequente de metas semanais.

Figura 45 - sala de reuniões apenas para os gestores



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

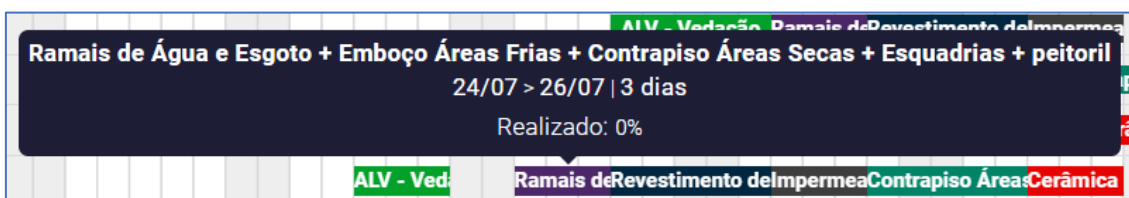
Figura 46 - reunião aberta a todos



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

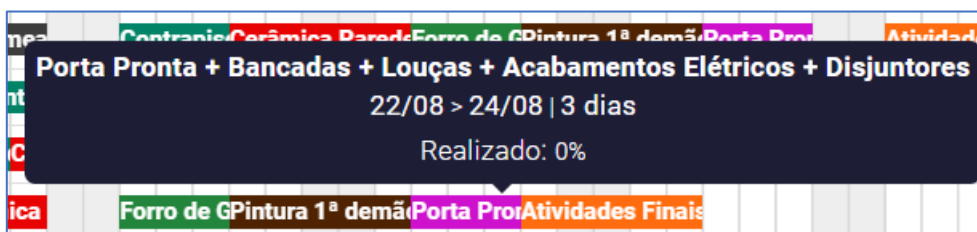
Na sequência, foram implementadas uma série de melhorias na LOB da obra. A primeira foi a pacotização de serviços (figuras 47 e 48), técnica *Lean* para simplificação e otimização de fluxos que a empresa ainda não havia utilizado no seu planejamento. Ao longo do cenário dois, foi identificada redução da complexidade dos projetos, entretanto, mesmo nos cronogramas mais otimizados, contidos nas fases 3 e 4, ainda havia semanas com até três pacotes de trabalho simultâneos. Após a pacotização, todos os lotes do cronograma tiveram o fluxo reduzido a um pacote por vez, sem simultânieidade. Ainda, todos são compostos apenas pelas atividades essenciais para proporcionar frente de trabalho para os seguintes.

Figura 47 - pacotização, exemplo 1



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

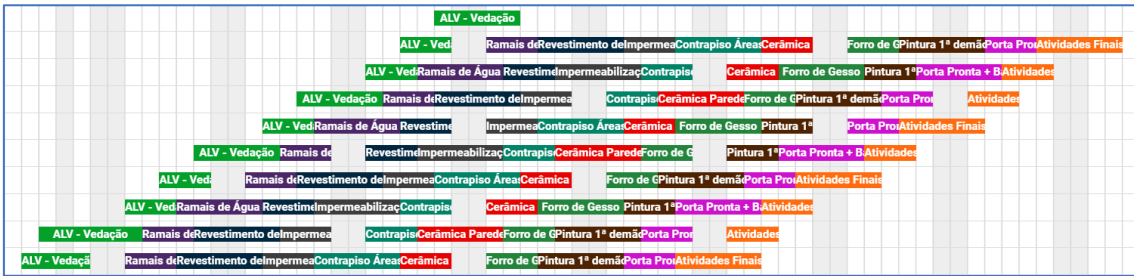
Figura 48 - pacotização, exemplo 2



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

A segunda mudança foi nas vinculações entre as repetições de cada atividade ao longo dos pavimentos. Anteriormente era considerado que cada serviço só começaria no lote seguinte um dia após o término no atual. A consultoria propôs então uma nova dinâmica de equipes, na qual os serviços já iniciam no pavimento seguinte um dia antes de terminarem nos anteriores (figura 49). Essa mudança tornou os fluxos de execução mais dinâmicos, sem necessidade de contratar mais mão de obra.

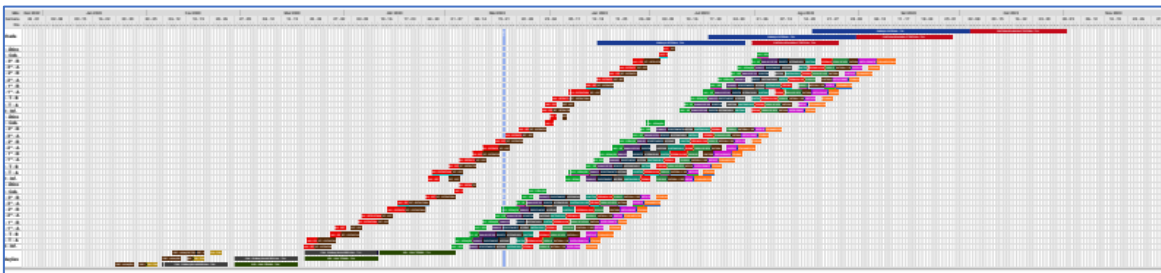
Figura 49 - nova vinculação de atividades



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Ambas as melhorias apresentadas só foram possíveis graças às mudanças *in loco*, que aumentaram a eficiência na execução de todos os serviços da obra. O resultado foi um crônoograma sem folgas e com o *Takt-Time* completamente padronizado, devido à pacotização e ao aumento da eficiência nas atividades que demandavam mais tempo. Quando foi contratada a consultoria, a obra estava em andamento e possuía um cronograma em LOB (Figura 51). Entretanto, após todas as mudanças apresentadas, foi elaborada o novo planejamento da obra, que reduziu seu prazo em 4 meses (figura 50).

Figura 50 - LOB Lean



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

Figura 51 - LOB anterior ao Lean



Fonte: Disponibilizado pela empresa, adaptado pelo autor.

4.2.3.3 Conclusão do cenário 3

O terceiro cenário mostrou a relação direta entre planejamento e execução, visto que as melhorias trazidas *in loco* impactaram diretamente na estrutura da LOB. As reformulações no canteiro de obras proporcionaram aumento da eficiência em todas as atividades, o que, junto com a pacotização, permitiu padronizar totalmente o *Takt-Time* do projeto – todos os pacotes de trabalho têm o mesmo ritmo, com duração de 3 dias. Apesar de princípios *Lean* como fluxo contínuo, simplificação do projeto e *Takt-Time* já terem aparecido nos cronogramas do segundo cenário, no qual a empresa não tinha conhecimentos práticos da filosofia *Lean*, nenhum projeto analisado no período se mostrou tão eficiente e enxuto quanto o da obra do cenário 3.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

O presente trabalho teve como um de seus objetivos identificar se a LOB poderia ser uma potencializadora da implantação da *Lean Construction*. Desse modo, a partir da análise dos materiais fornecidos pela empresa, foi possível confirmar o questionamento inicial. Isso se verifica, como exposto no capítulo anterior, pelo fato de que a LOB detém diversos princípios *Lean*, como *Kaizen*, *Takt-Time* e fluxo contínuo. Pode-se concluir, portanto, que a LOB detém diversos princípios *Lean*, e assim é um método de planejamento eficaz na aplicação da filosofia *Lean Construction*.

No período de 25 anos durante o qual a empresa não possuía conhecimento dessa filosofia, desde a sua fundação em 1998 até a contratação da consultoria no ano de 2023, esses princípios apareceram nos cronogramas da empresa apenas nos últimos três anos, a partir do momento em que o gráfico de Gantt foi substituído pela LOB.

Inicialmente, com o Gantt, a empresa possuía pouco controle dos seus fluxos e processos, visto que o planejamento era elaborado a nível mensal, com a porcentagem a ser realizada de cada atividade nos diferentes meses de obra. Com a passagem de dados do Gantt para a LOB, o cronograma a nível diário da nova ferramenta expôs a ausência de princípios *Lean* no planejamento que a empresa realizava desde sua fundação – com constante quebras de fluxo, ritmos sem padronização e inconstância na distribuição do volume de atividades. Entretanto, nos três anos de utilização da LOB, todos esses problemas foram corrigidos ou amenizados, o que revelou a alta eficiência do método na aplicação dos princípios da *Lean Construction*. O resultado da compatibilidade entre ferramenta e filosofia observada no caso estudado foi a otimização de atividades e fluxos, que reduziu o prazo de diversos dos seus projetos em mais de dois meses – mesmo antes da consultoria de *Lean Construction*. Nesse sentido, a substituição de métodos de planejamento tradicionais – como o gráfico de Gantt e as redes PERT/COM – pela Linha de Balanceamento pode ser uma solução para a disseminação do *Lean* no setor construtivo brasileiro.

Por fim, a análise do período após a consultoria de *Lean Construction* demonstrou a importância da aplicação dos princípios dessa filosofia no canteiro de obras. Apesar da eficiência observada na LOB, a aplicação do *Lean* era limitada ao planejamento por meio

da reorganização das equipes, dos planos de ataque e dos fluxos de atividades. Entretanto, quando os princípios passaram a ser aplicados também no canteiro, observou-se a redução de diversos tipos de desperdícios e assim a execução dos serviços tornou-se mais eficiente. Essa otimização no tempo de execução impactou diretamente no planejamento em LOB, que ficou ainda mais enxuto quando comparado ao cenário dois, no qual a ferramenta era utilizada sem a posterior instrução acerca da *Lean Construction*. Sob essa perspectiva, foi possível concluir que apesar da LOB ser *Lean* e introduzir vários dos seus princípios, o conhecimento aprofundado desta filosofia amplia o potencial de melhoria apresentado pela ferramenta de planejamento.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros

Para próximos trabalhos, sugere-se ampliar o espaço amostral para um número maior de empresas. Além disso, a abordagem de outras tipologias construtivas pode acrescentar considerações para o debate acerca da eficácia da adoção da LOB como ferramenta *Lean*. Apesar da conclusão do presente trabalho de que a LOB é uma ferramenta que detém os princípios *Lean*, o seu objeto de estudo foi justamente o cenário mais beneficiado por esse método: obras de caráter repetitivo. A análise da aplicação da LOB em tipologias nas quais o fator de repetição não é tão significativo, como obras residenciais unifamiliares, rodoviárias e de saneamento, contribuiria para a verificação dessa característica na LOB – é uma ferramenta que detém plenamente os princípios *Lean* ou só possui essa propriedade quando utilizada em tipologias específicas?

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R. R; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Takt-Time: conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção.** Gestão & Produção, v. 8. 2001. p.1-18.
- ALVES, C. L. et al. **Using the Line of Balance for production system design.** Artigo de evento, Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza, 2008.
- ARANTES, P. C. F. G. **Lean Construction – filosofia e metodologias.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto, 2008.
- AVILA, A. V.; JUNGLES, A. D. **Gestão do controle e planejamento de empreendimentos.** Florianópolis: Autores, 2013.
- BALLÉ, M; EVESQUE, B. **A casa STP é uma luz orientadora para a empresa que deseja iniciar sua jornada Lean.** Lean Institute Brasil. São Paulo, 2016.
- BEDIN, Y. C. M. **Método da Linha de Balanço automatizada por ferramenta computacional: estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.
- BRANSKI, R. M. et al. **Metodologia de estudo de casos aplicada a logística.** Universidade Estadual de Campinas. S.D.
- BULHÕES, I. R; PICCHI, F. A. **Diretrizes para a implementação de fluxo contínuo em obras de edificações.** Ambiente Construído, v. 11, n. 4, Porto Alegre, 2011. p. 205-223.
- CARNEIRO, T. M. et al. **Análise de como puxar a produção em canteiros repetitivos planejados com Linha de Balanço.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14. Juiz de Fora, MG. p. 3002-3007.
- CARVALHO, A. B. et al. **Study on the factors of delay in construction works.** Ambiente Construído, v. 21, n. 3. Porto Alegre, 2021. p. 27-46.
- CONGRESSO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO, 14., ConstruBusiness. 2021, São Paulo, SP.

COSTA, M. Z. **Estudo de dificuldades para a implantação da filosofia *Lean* em empresas construtoras.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

DENNIS, P. **Produção *Lean* simplificada.** Editora Bookman. Segunda edição, 2008. São Paulo.

ELY, D. M. **Intervenção para melhorias em serviços de construção: um estudo de caso baseado em princípios da construção enxuta.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

FORMOSO, C. T.; SAURIN, T. A. **Planejamento de Canteiros de Obra e Gestão de Processos.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Porto Alegre, 2006.

FRANCELINO, T. R. et al. **Melhorias de processos com a aplicação da filosofia *Lean*.** ENEGEP, 26. 2006.

GHINATO, P. ***Jidoka*: mais do que pilar da qualidade.** Lean Way Consulting, 2006.

GITAHY, P. F. S. C. R. et al. ***Application of some concepts of Lean Construction to work sites.*** Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

GÓES, M. B. et al. **Impactos da implementação da metodologia *Lean Construction* no Brasil.** Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção, v. 9, n. 16, Curitiba, 2021. p. 06-25.

HARADA, E. N; MENDONÇA FILHO, L. S. **Avaliação das dificuldades em aplicar o *Lean Construction* no Brasil.** Artigo. Centro Universitário FEI. 2018.

HEINECK, L. F. M; MOURA, R. S. L. M; **Linha de Balanço – síntese dos princípios de produção enxuta aplicados à programação de obras.** Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15. Alagoas, 2014. p. 1358-1367.

HERNANDES, F. S. **Análise da importância do planejamento de obras para contratantes e empresas construtoras.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Florianópolis, 2002.

KOSKELA, L. *Application of the new production philosophy to construction*, v. 72, 1992.

LOCATELLI, P. M. **Desperdícios no processo executivo de edificações em alvenaria estrutural à luz da filosofia Lean Construction: estudo em um empreendimento do Programa Minha Casa Minha Vida, em Florianópolis, SC.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

MARTINS, J. P; MONTEIRO, A. *Linha de Balanço – uma nova abordagem ao planejamento e controle das actividades da construção.* Artigo, GESCON. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2011.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras.** São Paulo: Editora Pini, 2010.

MUTTI, C. N. et al. *Prevision of delay in Brazilian residential unit construction contracts.* Journal of Civil Engineering and Architecture, v. 8, n. 1, 2014. p. 100-106.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala.** Porto Alegre : Bookmann, 1997

OLIVEIRA, L. S. **Lean Thinking em serviços de saúde: o processo de implantação em uma maternidade privada do Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado). Lisboa, 2019.

PEREIRA, E. S. S. **Fatores associados ao atraso na entrega de edifícios residenciais.** Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SANTOS, J. M. L. H. **Estudo de caso: avaliação da implementação de fluxo contínuo na construção civil baseada na produção enxuta.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

SILVA, L. S. A. **Lean Construction: uma busca sistemática da literatura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

TENÓRIO, F. G. **A unidade dos contrários: fordismo e pós-fordismo.** Revista da Administração Pública, 2011. p. 1141-1172.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro: Campus, 1998.

XAVIER, I. **Orçamento, planejamento e custos de obra.** Apostila da FUPAM. Fundação para Pesquisa Ambiental, 2008.