

# **Análise das contribuições da Construção Enxuta identificadas no planejamento de uma construção utilizando BIM 4D e metodologia LPS**

**Pedro Antonio Mareca Ferrer**

**Relatório Final de Projeto** apresentado à  
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança** para  
obtenção do **Grau de Mestre em Engenharia da Construção**  
no âmbito da **Dupla Diplomação** com a  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava**

**Orientador: Professor Doutor Rui Alexandre Figueiredo de Oliveira**

**Coorientador: Professor Doutor Rodrigo Scoczynski Ribeiro**

**Bragança, outubro de 2021**

## Agradecimentos

Esse trabalho acadêmico é fruto da colaboração e incentivo de muitas pessoas, além instituições que possibilitaram e deram todo o apoio necessário. Primeiramente agradecer a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campus Guarapuava, ao Instituto Politécnico de Bragança, por me proporcionar a oportunidade para desenvolver o estudo, e sendo importante para minha vida por terem o acordo de dupla diplomação.

Aos meus orientadores, Professor Dr. Rui Oliveira e Professor Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro por me auxiliarem e sempre estarem a minha disposição quando necessário, além de darem o apoio que eu precisava.

Agradeço a toda família que sempre entendeu e apoiou nessa caminhada, em especial meus pais Maria Aparecida e Antonio Carlos que são meu maior orgulho e fonte de força para a vida e fizeram que fosse possível o trabalho.

Aos amigos que sempre estiveram comigo nessa trajetória e nunca vou esquecer de todo apoio, não consigo citar nome pois são muitos que fizeram e fazem minha vida muito melhor.

Em especial aos que dividi casa e experiências aqui na Europa, tornando-se irmãos que vou levar para a vida, Lucas Pissaia, Matheus Henrique e Lucas Matte.

Aos que fizeram parte da minha vida acadêmica muito melhor, Alessandra, Márcio, Gabriel Mafra, Luiz Felipe, Ary, Allan, Matheus, Wendell entre outros que sempre vou lembrar do que fizeram.

Enfim obrigado a todos por me auxiliar a manter o foco e motivação necessária para concluir mais um ciclo.

FERRER, P. A. M. Análise das contribuições da Construção Enxuta identificadas no planejamento de uma construção utilizando BIM 4D e metodologia LPS. 2021. 105 f. Dissertação de Mestrado – Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2021.

## RESUMO

A *Lean construction* é um conceito em crescimento no âmbito da construção civil. Esta, tem como base o sistema de produção da Toyota, e sua aplicação está sendo cada vez mais estudada em função dos seus benefícios. Pode ser utilizado em diversos processos de trabalhos de construção, já que seus conceitos englobam todas as partes. Juntamente com a *lean*, o BIM 4D surge como uma ferramenta inovadora para facilitar a visualização e entendimento da construção como um todo, desde seus materiais até o andamento do seu cronograma.

O presente estudo aborda a possibilidade de resolver problemas em obras com a utilização dessas duas ferramentas. Neste trabalho foi realizado um estudo de caso para saber onde poderia ser aplicado os conceitos *lean*, buscando solucionar problemas durante a execução do projeto.

O estudo de caso envolve desenvolvimentos do cronograma de atividades da obra de realização da estrutura do tipo metálica no Seminário Maior de São José em Bragança, norte de Portugal. Assim com a análise da obra foi encontrado um problema relacionado com a realização da betonagem da laje de aproveitamento de cobertura em período de inverno rigoroso, em época quando ocorrem geadas que influenciam negativamente a resistência do betão. Para resolver o problema, foi proposto a aplicação dos conceitos *lean* em tarefas presentes no cronograma da obra, com o objetivo de alterar a realização da betonagem em outro período. Após a escolha dos processos em que seriam aplicados os conceitos, e a alteração do cronograma de acordo com os novos prazos e datas, foi possível perceber que foi conseguido alterar o período de execução da betonagem para uma época de clima mais ameno.

Com a realização dos projetos BIM 4D e com o auxílio da metodologia *Last Planner System* (LPS), foi possível demonstrar de maneira mais clara e simples de mudança do cronograma e como seria a sequência de execução da obra, sem ter betonagem de lajes em período crítico de inverno. Assim é possível ver que com a metodologia utilizada neste estudo de caso, pode para obras de padrão similar contribuir para a resolução de problemas que são frequentes aquando da implementação dos cronogramas de obras.

O presente trabalho conclui que a aplicação da *lean construction* pode ser utilizada também para resolver problemas na execução das obras influenciando diretamente o cronograma desenvolvido inicialmente, e juntamente com BIM 4D, o leva a que o projeto se torne mais fácil de ser compreendido, eliminando constrangimentos.

**Palavras-chave:** *Lean construction*. Construção civil. Estrutura metálica. BIM 4D. Cronograma. Betonagem.

## ABSTRACT

Lean construction is a growing concept within civil construction. This is based on Toyota's production system, and its application is being increasingly studied due to its benefits. It can be used in a variety of construction work processes, as its concepts encompass all parts. Together with lean, BIM 4D emerges as an innovative tool to facilitate the visualization and understanding of the construction as a whole, from its materials to the progress of its schedule.

This study addresses the possibility of solving problems in construction sites using these two tools. In this work, a diagnosis of a case study was carried out to know where lean concepts could be applied, seeking to solve problems during project execution.

The case study is about the realization of the metallic type structure in the Seminário Maior of São José in Bragança, north of Portugal. Thus, with the analysis of the work, a problem was found related to the concreting of the roof utilization in a period of severe winter, at a time when frosts occur that negatively influence the strength of the concrete. To solve the problem, it was proposed the application of lean concepts in tasks present in the work schedule, with the objective of changing the execution of the concreting in another period. After choosing the processes in which the concepts would be applied, and changing the schedule according to the new deadlines and dates, it was possible to see that the change from the period of execution of the concreting to a period of milder weather was achieved.

With the completion of the BIM 4D projects and with the help of the LPS methodology, it was possible to demonstrate in a clearer and simpler way the change in the schedule and how the work execution sequence would be, without having to concrete slabs in a critical winter period. Thus, it is possible to see that with the methodology used in works that fit the established pattern, it is possible to solve several frequent problems that are found in the construction schedules.

Therefore, this work concludes that the application of lean construction can also be used to solve problems in the execution of works, directly influencing the initially developed schedule, and together with BIM 4D makes the project easier to be understood, eliminating constraints.

**Keywords:** Lean construction. Civil construction. Metallic structure. BIM 4D. Schedule. Concreting.

## ÍNDICE

1	Introdução .....	12
1.1	Contexto.....	12
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	14
1.2.2	Objetivos específicos.....	14
1.3	Estrutura do trabalho.....	15
2	Revisão de literatura .....	16
2.1	Cenário atual da construção civil .....	16
2.1.1	Processos construtivos convencionais .....	16
2.1.2	Dificuldades em inovar .....	22
2.1.3	Potenciais problemas frequentes no decorrer de obras .....	24
2.1.3.1	Gastos inesperados .....	24
2.1.3.2	Entrega de materiais fora do prazo .....	25
2.1.3.3	Imprevistos.....	25
2.1.3.4	Erros de execução .....	25
2.1.3.5	Acidentes de trabalho .....	25
2.1.3.6	Atividades realizadas em períodos problemáticos .....	25
2.2	<i>Lean Construction</i> .....	28
2.2.1	Conceitos.....	28
2.2.1.1	<i>Lean Thinking</i> .....	28
2.2.1.2	Toyota Production System .....	31
2.2.1.3	<i>Last Planner System (LPS)</i> .....	33
2.2.2	Processos e ferramentas.....	34
2.2.2.1	Princípios fundamentais da Lean construction.....	34
2.2.2.2	Aplicações da construção enxuta.....	40
	i. Introdução dos princípios da filosofia de construção enxuta no processo de produção em uma construtora em Passo Fundo-RS.....	40
	ii. Avaliação da utilização dos princípios da construção enxuta em duas empresas do setor da construção civil no município de Rondonópolis-MT.....	41
	iii. Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de são paulo .....	41

iv.	Aplicação da Filosofia Lean Construction no Processo Produtivo de uma Empresa do Setor de Construção Civil .....	42
v.	<i>Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding</i> .....	42
vi.	<i>Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production</i> .....	43
vii.	<i>Lean Management Model for Construction of High-Rise Apartment Buildings</i> .....	43
viii.	<i>Visual management in highways construction and maintenance in England</i> .....	44
2.3	BIM.....	45
2.3.1	Introdução.....	45
2.3.2	BIM na indústria da construção .....	46
2.3.2.1	Descrição .....	46
2.3.2.2	Benefícios .....	48
2.3.3	Aplicações BIM.....	51
2.3.3.1	Propósitos para aplicação .....	51
2.3.3.2	Exemplos de aplicações .....	51
i.	A review of risk management through BIM and BIM-related technologies.....	51
ii.	Utilização do BIM na reconstrução de uma prisão no Reino Unido	53
iii.	<i>Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling</i> .....	56
2.3.4	BIM 4D.....	58
3	Metodologia de investigação.....	60
3.1	Contexto da metodologia de investigação seguida.....	60
3.2	Estudo de caso .....	61
	Este estudo de caso aborda o estudo do projecto e do cronograma de obra, bem como as condicionantes existentes na aplicação do mesmo. Assim, este estudo contempla uma metodologia para resolver problemáticas encontradas em obras a partir da aplicação dos princípios da lean, a qual será desenvolvida com uma ordem para utilização das ferramentas (diagnóstico, questionário, BIM 4D), e será utilizada nesse estudo buscando demonstrar de maneira clara os resultados da sua aplicação, e assim podendo ser replicada para outros casos. ....	61
3.2.1	Descrição do projeto.....	61
3.2.2	Problemática e enquadramento com a <i>lean construction</i> .....	67

3.2.3	Dados recolhidos e sua aplicação .....	68
4	Resultados e discussões.....	70
4.1	Estratégia construída a partir do método aplicado .....	70
4.1.1	Diagnóstico das tarefas pelo cronograma .....	70
4.1.2	Preenchimento do questionário .....	71
4.1.3	Enquadramento dos conceitos <i>lean</i> para as atividades.....	71
4.1.4	Atualização do cronograma e novas datas .....	74
4.2	Cronograma .....	75
4.3	BIM 4D do estudo de caso .....	79
4.3.1	Cronogramas adicionados no MS Project .....	80
4.3.2	Projeto 3D no Revit.....	80
4.3.3	Criação do projeto 4D.....	83
4.4	Contribuições do estudo .....	87
5	Conclusões .....	90
5.1	Principais conclusões.....	90
5.2	Limitações do estudo .....	92
5.3	Futuras linhas de investigação.....	92
6	Bibliografia .....	94
7	Anexos .....	100

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Aço sendo cortado e dobrado na indústria.....	17
Figura 2 - Concreto sendo feito em obra.....	18
Figura 3 - Argamassa convencional sendo feita em obra .....	19
Figura 4 - Escavação mecanizada .....	19
Figura 5 – Produção de formas em obra.....	20
Figura 6 - Exemplo de armazenamento de materiais em obra.....	21
Figura 7 – Exemplo de transporte interno de materiais em obra.....	22
Figura 8 - Fluxograma contendo princípios do Lean Thinking.....	29
Figura 9 - Esquema base do Sistema de Produção Toyota .....	32
Figura 10 - Utilização do vibrador convencional.....	35
Figura 11 - Utilização do vibrador portátil.....	35
Figura 12 - Aço sendo cortado e dobrado em obra .....	36
Figura 13 - Aço cortado e dobrado na indústria .....	37
Figura 14 - Concreto industrializado chegando em obra.....	37
Figura 15 - Exemplo laje plana.....	38
Figura 16 - Ciclo PDCA .....	40
Figura 17 - Exemplo de casa modular.....	43
Figura 18 - Equipe de gestão trabalhando com auxílio do BIM .....	44
Figura 19 - parte da prisão de Cookham reconstruída .....	53
Figura 20 - Comparação modelo virtual com imagem real do projeto .....	57
Figura 21 - Fluxograma da metodologia.....	61
Figura 22 - Fachada externa do Seminário .....	62
Figura 23 - Interior do piso 1 do Seminário .....	63
Figura 24 - Estrutura vertical do Seminário .....	64
Figura 25 - Planta estrutural tipo (piso 1, piso 2, teto do piso2) .....	65
Figura 26 - Planta estrutural lajes (piso 1, piso 2, teto do piso2).....	65
Figura 27 - Planta estrutural do rés do chão .....	65
Figura 28 - Planta estrutural laje do rés do chão.....	66
Figura 29 - Planta estrutural da cobertura.....	66
Figura 30 - Planta para observar posicionamento da escada .....	67
Figura 31 - Fluxograma dos dados.....	69
Figura 32 - Fluxograma aplicação 1 .....	72
Figura 33 - Fluxograma da aplicação 2 .....	73
Figura 34 - Fluxograma da aplicação 3 .....	74
Figura 35 - Fluxograma do resultado das aplicações.....	74
Figura 36 - Software MS Project .....	80
Figura 37 - Software Revit.....	81
Figura 38 - Detalhe estrutura metálica .....	82
Figura 39 - Vista piso 1 do projeto em Revit .....	82
Figura 40 - Software Navisworks.....	83
Figura 41 - Vista frontal do projeto 4D.....	84

Figura 42 - Perspectiva de trás do projeto 4D .....	84
Figura 43 - Perspectiva aproximada do projeto 4D .....	85
Figura 44 - Simulação do projeto 4D .....	85
Figura 45 - Projeto 4D do cronograma original.....	86
Figura 46 - Projeto 4D do cronograma alterado .....	86
Figura 47 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	89

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de produção de resíduo na indústria .....	30
Quadro 2 - Exemplos de benefícios na gestão de riscos .....	55
Quadro 3 - Colocação das vigas metálicas piso 1 (cronograma original).....	75
Quadro 4 - Colocação das vigas metálicas piso 1 (cronograma alterado) .....	75
Quadro 5 - Execução da laje inclinada para cadeiras do auditório (cronograma original) .....	76
Quadro 6 - Execução da laje inclinada para cadeiras do auditório (cronograma alterado) .....	76
Quadro 7 - Execução das paredes envolventes 1 (cronograma original).....	76
Quadro 8 - Execução das paredes envolventes 1 (cronograma alterado) .....	77
Quadro 9 - Execução das paredes envolventes 2 (cronograma original).....	77
Quadro 10 - Execução das paredes envolventes 2 (cronograma alterado) .....	77
Quadro 11 - Execução das paredes envolventes 3 (cronograma original).....	77
Quadro 12 - Execução das paredes envolventes 3 (cronograma alterado) .....	78
Quadro 13 - Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2 (cronograma original) .....	78
Quadro 14 - Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2 (cronograma alterado) .....	78
Quadro 15 - Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura (cronograma original) .....	78
Quadro 16 - Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura (cronograma alterado).....	79
Quadro 17 - Betonagem aproveitamento de cobertura (cronograma original) .	79
Quadro 18 - Betonagem aproveitamento de cobertura (cronograma alterado)	79

# 1 Introdução

## 1.1 Contexto

A Construção Civil é uma atividade muito importante da sociedade e uma das mais antigas a ser praticada, responsável pela criação de inúmeros empregos e oportunidades. Com os passar dos anos a área da construção civil evoluiu com aplicação de novas tecnologias, tornando seus processos mais rápidos, seguros e econômicos (CORREIA, 2018).

A qualidade das construções deriva de todos os processos da obra até sua finalização. A execução da obra é a fase em que o engenheiro tem mais dificuldade e incertezas, sobretudo devido ao comportamento e profissionalização da equipe de funcionários, cumprimento do cronograma da obra, intempéries, compatibilização dos projetos, acidentes e erros por falta de fiscalização, além de ser o último estágio antes da conclusão da obra o que a torna fundamental (ALMEIDA E PICCHI, 2018).

Durante a execução de uma construção existem processos que podem ser otimizados, para trazer benefícios tanto econômica quanto sustentavelmente. A possibilidade da aplicação da filosofia enxuta do sistema Toyota de produção, que consiste em processos para melhorar a eficiência e produtividade, é uma das melhores ferramentas para garantir o equilíbrio desses benefícios. O sistema Toyota, quando aplicado na construção civil, é denominado *Lean Construction* (Construção Enxuta). Como diversos problemas ambientais aumentaram, uma construção sustentável torna-se cada vez mais valorizada, porém seu equilíbrio com a parte econômica da construção é importante para se tornar atraente (CORREIA, 2018; GHINATO, 1995).

A *Lean Construction* teve como seu pioneiro o pesquisador finlandês Lauri Koskela, o qual tentou adequar o Sistema de Produção Toyota na construção civil e hoje é a principal referência de estudos nessa área. Apesar do sistema Lean ter mais de 70 anos, na construção civil foi implantado há pouco menos de 30 anos. Segundo Almeida e Picchi (2018) a relação entre sustentabilidade e construção enxuta nos últimos anos tem ganho destaque, artigos com pesquisas sobre a interação destes conceitos foram publicados, estudando seus benefícios e possíveis alinhamentos (KOSKELA, 2020).

O BIM (*Building Information Modeling*) aparece como uma ferramenta capaz de ajudar a avaliação dos processos a serem realizados. Principalmente na modelagem 4D, o qual é adicionado o tempo à simulação. Os modelos são utilizados para explicar e prever o comportamento de objetos ou sistemas reais, assim trazendo a uma melhor visualização da obra e seus processos. Lembrando que os modelos, são aproximações dos objetos e sistemas que representam e que não são réplicas exatas. A possibilidade de analisar a execução de uma obra, juntamente com a utilização do Lean Construction faz

com que a tecnologia BIM se torne um diferencial para o trabalho. Os resultados podem ser utilizados para entender, projetar, gerenciar e prever o funcionamento de sistemas, possibilitando a escolha dos melhores processos em relação a tempo e custo.

Com a aplicação do conceito *lean* é possível realizar alterações em cronogramas de obra, com o objetivo de desenvolver tarefas em prazos e datas desejadas. Existem atividades que devem ser realizadas em determinados períodos do ano, pois podem ser afetadas pelo clima. Como por exemplo existe a necessidade de realizar a betonagem em períodos com temperaturas que não sejam negativas, pois quando realizado a essas condições, sem cuidados especiais, o mesmo é afetado negativamente em relação a sua resistência como indica estudos de Vieira e Gonçalves (2008) e Branco et al. (2015).

Este trabalho contempla um estudo de caso como metodologia para resolver problemáticas encontradas em obras a partir da aplicação dos princípios da *lean*, será desenvolvida uma metodologia com uma ordem para utilização das ferramentas, a qual será utilizada nesse estudo, e busca demonstrar de maneira clara os resultados da sua aplicação, assim podendo ser replicada para outros casos.

Com o aumento dos problemas ambientais no planeta, temos uma necessidade mundial de melhorias sustentáveis em todos os âmbitos. Também com a possibilidade de otimização de processos na execução de uma construção civil para diminuição de tempo e custos, a aplicação do *Lean* que é a ferramenta promissora no que tange a busca para obter os melhores resultados em ambas as necessidades, torna-se interessante. Em conjunto com projetos em BIM 4D é possível avaliar os resultados de como influencia e quais os benefícios dessa aplicação inovadora em uma área qual tem predominância de métodos construtivos convencionais, com o intuito de demonstrar que com a modernização e profissionalização dos processos escolhidos pode conduzir benefícios, ou não, quando utilizada de maneira correta em obra.

## 1.2 Objetivos

Este trabalho envolve um estudo de caso relacionado com um projecto de reabilitação estrutural de um edifício utilizado como Seminário, na cidade de Bragança, Portugal. Com o estudo de caso pretende-se o estudo detalhado do projecto previsto, incluindo o cronograma de trabalhos previsto para a obra, bem como uma proposta de um novo cronograma, atendendo aos pressupostos da implementação da *Lean Construction*. Deste modo, foram estabelecidos um objectivo geral e 4 objectivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é:

Analisar a redistribuição das atividades do cronograma de uma obra com processos construtivos convencionais utilizando os conceitos da construção enxuta visando optimização de prazos e realocação de tarefas para antecipação de uma atividade de betonagem.

Com a aplicação dos princípios da *Lean*, busca resolver a problemática encontrada no estudo de caso.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho são:

- Diagnosticar a obra em busca de uma tarefa problemática para ser utilizada no estudo de caso;
- Identificar os processos convencionais que possam ser optimizados no estudo, aplicando soluções baseadas na construção enxuta, para solucionar o problema encontrado;
- Analisar a viabilidade das soluções propostas (em relação a mão de obra e materiais utilizados), atendendo às alterações realizadas no cronograma;
- Modelar o projeto em BIM 4D para demonstrar as mudanças feitas no cronograma.

### 1.3 Estrutura do trabalho

Para a elaboração do estudo e atender os objetivos propostos, o trabalho foi desenvolvido e dividido em 5 (cinco) capítulos mais anexos, estruturados da seguinte forma:

- No Capítulo 1, é composto da introdução do tema de uma forma ampla, apresentando uma breve explicação do assunto e os objetivos que se pretendem alcançar, com o desenvolvimento do tema;
- O Capítulo 2, compreende o cenário atual da construção civil, em relação aos processos construtivo e a problemática das inovações. Também aborda os principais conceitos do estudo como a *Lean Construction*, sistema de produção Toyota, e o BIM. Nesse capítulo é descrito as definições desses conceitos, seus benefícios e aplicações;
- Já no Capítulo 3, apresenta a metodologia utilizada e descreve a obra do estudo de caso, em conjunto com os dados obtidos para realizar o projeto;
- No Capítulo 4, corresponde aos resultados e discussões do trabalho, que aborda a estratégia utilizada e como foram desenvolvidas as soluções;
- O Capítulo 5, referente às Conclusões do trabalho;
- Na BIBLIOGRAFIA, temos citados todos os estudos, trabalhos e livros utilizados como referência;
- No ANEXO, engloba-se os conteúdos complementares ao estudo (cronogramas, questionário).

## 2 Revisão de literatura

### 2.1 Cenário atual da construção civil

#### 2.1.1 Processos construtivos convencionais

Na construção civil diversos processos são fundamentais durante a obra, e diversos deles são realizados da mesma maneira há anos. Nesse trabalho será descrito e avaliado processos que possam ser modificados pelo *Lean Thinking* em busca de melhorias, tanto econômicas, como também em relação ao tempo de execução e sustentabilidade.

A obra pode ser separada em diversas etapas, e essas etapas contendo diversos processos até sua conclusão. Para a construção de uma edificação podemos citar 10 etapas até a sua finalização sendo:

- Serviços preliminares;
- Infra-estrutura;
- Supra-estrutura;
- Cobertura;
- Esquadrias;
- Revestimento;
- Instalações hidrossanitárias;
- Instalações elétricas;
- Pintura interna e externa;
- Cerâmica.

Dessas etapas serão descritos processos que fazem parte da infraestrutura, supra-estrutura, cobertura, esquadrias, revestimento e o transporte e armazenamento das demais etapas.

Um processo muito estudado e já modificado em muitas obras atualmente é o corte e dobra de aço. O aço em obra se faz presente em quase todas as estruturas da edificação, desde a fundação até a cobertura, seu desempenho em resistir tração, faz com que o material ganhe importância maior quando junto com concreto, o qual tem mínima resistência a esse esforço, mas sim a compressão. Seu preparo, corte e dobra, inicialmente era feito em obra, porém ao passar dos anos empresas se especializaram no processo e se colocaram à disposição para realizar o corte e dobra já com as dimensões descritas em projeto, para o material chegar em obra pronto para utilização. O aço cortado e dobrado já na indústria como mostra a Figura 1, facilitou e simplificou obras, nas quais era necessário a separação de um espaço interno para a preparação do material antes mesmo de utilizar, além de

ocorrer diversos erros nas dimensões aumentando o desperdício. Com a compra do material já em sua dimensão necessária, o único trabalho das empresas seria o seu armazenamento.



**Figura 1 - Aço sendo cortado e dobrado na indústria**

Fonte: Serralheria Santa Izabel

Outro processo que se enquadra em mais de uma etapa da construção de um edifício é a produção e utilização de concreto, ele está presente na infraestrutura na fundação, em colunas, lajes e escadas como também na superestrutura em pilares, vergas e contra vergas. O concreto produzido em obra, mostrado na Figura 2, em pequena escala consegue suprir a necessidade tanto de quantidade quanto de tempo de preparo, já quando a demanda pelo material é maior, como na concretagem de uma sapata, laje ou até mesmo pilares com maiores dimensões, o tempo de produção torna-se um empecilho. Desde o início da utilização do concreto a sua produção era pensada em relação a distância para sua aplicação. Porém com uma demanda maior a possibilidade de ser fabricado em grande escala e ser transportado surgiu como uma boa alternativa para diminuir tempo, trabalho, e conseqüentemente custo. Além disso garante qualidade, com traço e resistência necessária, por meio de ensaios realizados pelas empresas que comercializam esse material.



**Figura 2 - Concreto sendo feito em obra**  
Fonte: Engenharia Concreta

Assim como a produção de concreto em obra, a produção de argamassa inicialmente tinha como base a localização da utilização do material. Por se tratar de um material utilizado na etapa de revestimento, geralmente não ocorre uma demanda grande em obra e a produção em obra é a mais utilizada, a alternativa da argamassa industrializada para grandes escalas também se torna uma boa escolha quando ocorre a busca pela qualidade e redução de tempo na produção, mas também é necessário estudo para garantir melhora no processo, em que ocorre a necessidade do transporte desse material até ao canteiro de obras. Uma das possibilidades de garantir a qualidade da argamassa produzida em obra, demonstrada na Figura 3, é a argamassa feita com a mistura de seus componentes já pronta, porém em alguns casos se torna inviável por seu valor final ser maior do que a convencional.



**Figura 3 - Argamassa convencional sendo feita em obra**

Fonte: RETONDO L.,2021

A escavação para nivelamento do terreno e execução da fundação do edifício é um dos processos iniciais da obra, e que pode trazer atrasos e custos desnecessários. Antigamente na execução de obras a escavação manual era necessária, mas atualmente é utilizada quando é preciso retirar um volume menor de terra, pois além do tempo requerido o esforço dos funcionários custa para o empregador. Uma avaliação para utilização da escavação manual ou mecanizada, sendo a mecanizada ilustrada na Figura 4, em relação a custo e tempo deve ser feita, para assim escolher a melhor para o serviço estabelecido. Sua atividade é regulamentada pela NR 18 (Segurança no trabalho. Construção civil)



**Figura 4 - Escavação mecanizada**

Fonte: NHL Construtora

Para realizar a construção de vigas, pilares, verga e contra vergas, é necessário a produção de formas para receber o concreto e segurá-lo no formato desejado. As caixarias como são também são denominadas as formas podem ser feitas de diversas madeiras diferentes, sendo as principais o Pinus e o Pinheiro. Para a compra das madeiras que serão utilizadas na obra deve-se observar alguns detalhes, o volume necessário e o formato em que são vendidas, a qualidade que pode ser de primeira, segunda ou terceira linha, e assim que comprada a quantidade necessária deve ocorrer a fiscalização no recebimento desse material.

As madeiras utilizadas possuem pouco aproveitamento, e são difíceis de serem recicladas pela utilização de desmoldantes, que auxiliam na desforma, porém aumentam a possibilidade de quebra das madeiras. A pré-fabricação das formas já em obra se tornou uma alternativa para o serviço não ser interrompido como na construção de vergas e contra vergas, mas além de precisar de um espaço para sua preparação necessita de funcionários especializados no serviço, como mostra a Figura 5.



**Figura 5 – Produção de formas em obra**  
Fonte: Cia da obra

O armazenamento dos materiais de um canteiro é um dos processos mais importantes por fazer parte de todas as etapas da construção de um edifício. Um armazenamento correto dos materiais garante uma boa qualidade dos serviços executados, pois visa proteger e certificar que esses não terão suas composições e vida útil alteradas, um exemplo temos na Figura 6. Segundo a NR 18, norma que regulamenta da armazenagem em obra, “Os materiais devem ser armazenados e estocados de modo a não prejudicar o trânsito de pessoas e de trabalhadores, a circulação de materiais, o acesso aos equipamentos de combate a incêndio, não obstruir portas ou saídas de emergência e não provocar empuxos ou sobrecargas nas paredes, lajes ou

estruturas de sustentação, além do previsto em seu dimensionamento.” (SAURIN; FORMOSO, 2006).

Assim além de verificar a proximidade da utilização do local onde será utilizado o material, para diminuir o transporte interno da obra, deve-se verificar a segurança em torno do armazenamento.



**Figura 6 - Exemplo de armazenamento de materiais em obra**  
Fonte: SAURIN; FORMOSO, 2006

O transporte dos materiais dentro da obra, com exemplo demonstrado na Figura 7, é um processo que tem ganhado importância quando se pensa em tempo gasto, pois quanto menor seu trabalho, maior quantidade de tempo é disponibilizada em processos que agregam valor ao produto final. Associado ao armazenamento, o transporte de materiais também é regulamentado pela NR 18, a qual determina os possíveis transportes e como devem ser realizados a favor da segurança e melhora do espaço de trabalho.



**Figura 7 – Exemplo de transporte interno de materiais em obra**  
Fonte: Autoria própria (2020)

### 2.1.2 Dificuldades em inovar

Segundo Koskela, existem barreiras conceituais e culturais para implementação de uma nova filosofia de produção na construção civil, e assim mudar seus processos. A possibilidade de perder força dentro da empresa por distribuição de tarefas, faz com que os gestores repensem em aceitar as mudanças, além de não confiarem em que sua equipe seja capaz de se adaptar a tal filosofia. Para iniciar a mudança é necessário um equilíbrio em 4 fatores dentro da empresa sendo eles o compromisso da gestão, o qual deve existir o comprometimento e vontade da gestão em aplicar o novo conceito, criando um ambiente propício para mudar, segundo fator seria focar em atividades em que os seus resultados sejam mensuráveis, e de resultados a curto prazo para elevar a motivação da equipe e em seguida ocorrer aumentar a velocidade das melhorias. O envolvimento dos trabalhadores é o terceiro fator que necessita de equilíbrio, equipes que são autogeridas são valorizadas pois ficam responsáveis pelo controle e melhoria do processo, o envolvimento dos trabalhadores é importante, mas isolada não garante uma melhoria contínua. E o último fator é a aprendizagem, sendo essa em geral, tanto na gestão como nos funcionários, devendo ser feito através de experiência com a aplicação das novas ferramentas e feita por meio de *benchmarking* (KOSKELA, 2020; TOLEDO et al., 2000).

Para o sucesso na mudança dos processos, Koskella afirma que deve ser superado os problemas de fluxo, causando pelos conceitos convencionais de

gestão, ou seja, é necessário a implementação de métodos alternativos que já inicialmente conduzam a melhoria contínua, iniciando a mudança de conceitos. Para isso alternativas que mudam a atual sequência de realização de projeto são sugeridos pensando em uma diminuição do tempo de ciclo, assim a troca de informações deve ser intensa para como por exemplo a passagem de tarefas à equipe multifuncionais funcionar. Em busca de melhorar a qualidade, o foco é ter menor variabilidade nos processos, podendo buscar uma rápida detecção e correção de defeitos. Um controle geral, não segmentado engloba a busca pela qualidade e mudança na sequência da realização dos processos, já que ao repassar o controle do fluxo por completo facilitaria a aplicação de novos conceitos pois o conhecimento sobre o processo como um todo possibilita mudanças (KOSKELA, 2020).

Uma das principais dificuldades enfrentadas na mudança dos processos da construção é que a construção civil mesmo que seja uma indústria é tratada como se fosse uma classe própria, diferente da fabricação. Esta indústria tem uma complexidade maior, multiorganização temporária, produção local e ocorre excesso de intervenções regulamentadoras, a implementação de novos processos ligados a fabricação sofrem preconceitos (KOSKELLA, 2020; Câmara e Bergamesco, 2005).

Algumas mudanças em processos, são difíceis de serem comparadas, no caso imensuráveis, como uma redução de variabilidade, melhoria contínua, melhoria da transparência, aprendizagem, assim não fornecendo a motivação necessária para continuar as mudanças previstas para o resultado esperado (KOSKELA, 1992; TOLEDO et al., 2000).

Existem também problemas ligados a controle e melhoria nos processos por a produção ser feita no local, como problemas de variabilidade, os quais aumentam a possibilidade de interrupções no fluxo, problemas de complexidade, com diversas soluções para os problemas, e problemas de visibilidade, pois com o layout em constante evolução, mudança, o controle visual é difícil de implementar, onde a solução para diminuir essa dificuldade na mudança dos processos vem da pré-fabricação dos materiais (KOSKELA, 2020).

Por se tratar de uma multiorganização temporária, pode ser composta por equipes e empresas que nunca trabalharam juntas, e estão apenas vinculadas por questões contratuais, assim iniciando com um nível de entrosamento e comunicação menor, além das fronteiras organizacionais, o controle está acumulado em diferentes setores. Os principais problemas de a obra ser uma multiorganização temporária são, atingir a congruência em toda organização em favor das mudanças, estimular e acumular melhoria em um trabalho que é transitório, e fazer com que o entendimento e motivação ultrapasse as fronteiras organizacionais. Soluções nesse tipo de problema partem definição clara dos objetivos e do papel de cada integrante, e parcerias entre as gestões como fornecedores e a empresa de engenharia (KOSKELA, 2020).

No cenário atual as mudanças ocorrem em um ritmo muito lento, sendo as principais apenas os processos pré-fabricados, a necessidade em um entendimento específico sobre uma nova filosofia, com novos processos, a falta de competição internacional como por exemplo ocorre em fabricantes de automóveis, e o pequeno reconhecimento e pesquisa em instituições acadêmicas retardam seu crescimento.

Toledo et al. (2000) apontam que o setor da construção civil apresenta diversas particularidades em relação a outros setores da economia, como natureza única de um empreendimento, vida útil longa dos produtos, dependência entre empresas, dependência de outros setores industriais, além da natureza das inovações na construção majoritariamente gradual, com uma baixa frequência de inovações radicais.

A construção civil, segundo Câmara e Bergamasco (2005), recebe influências das intervenções oficiais reguladoras, as quais impõem restrições e incertezas e podem dificultar as inovações, pois normalmente requerem procedimentos e não desempenho. E citam a compatibilização de projetos informatizados e adesão a programas formais de qualidade como processos e tecnologias mais utilizados pelas empresas de construção. Os projetos informatizados reduzem as atualizações durante a obra, refletindo em redução do tempo custo e retrabalho.

Ainda é possível ressaltar que, como as inovações acontecem ao longo dos anos, elas não são facilmente percebidas, assim a construção civil é tida como um setor conservador com seu gerenciamento caracterizado por baixa orientação ao futuro e ao cliente. A construção civil, por ser um setor diferente dos demais setores da economia, possui características próprias para implementação de inovações. O ambiente no qual a construção civil está inserida dificulta a implementação de ações racionalizadas e inovações tecnológicas (TOLEDO et al., 2000).

### 2.1.3 Potenciais problemas frequentes no decorrer de obras

Nesse ponto serão descritos os problemas mais recorrentes no decorrer das obras.

#### 2.1.3.1 Gastos inesperados

Para tratar dos problemas que existem em obras podemos separá-los em temas para abordar. Assim temos o problema com gastos inesperados, seja por falta de planejamento ou por condições imprevisíveis, eles aparecem frequentemente durante uma construção. Solo ruim, problemas na estrutura da construção, perda de material por causa de chuvas, são alguns acontecimentos que resultam em mais gastos e até atrasar a obra. Para evitar é fundamental fazer um bom planejamento dos custos antes de iniciar a obra (LIMMER, 1997).

#### 2.1.3.2 Entrega de materiais fora do prazo

Existe também a entrega dos materiais fora do prazo que pode desencadear muitos outros problemas, especialmente a paralisação dos trabalhos. Para evitar que os materiais não estejam disponíveis no momento certo, é necessário se preparar previamente. Pois nem todos os produtos são disponíveis à pronta entrega nos estabelecimentos. Assim é necessário ter um cronograma de compras bem definido para encomendar os materiais de construção com antecedência (LIMMER, 1997).

#### 2.1.3.3 Imprevistos

Temos os imprevistos que acontecem ao longo do caminho que podem atrasar a entrega da construção. Existem razões aceitáveis para atrasos no projeto onde é necessário estar preparado. Algumas causas mais comuns são: o período de chuva que impossibilita a realização de certas tarefas, desfalque na equipe de mão de obra, problemas com documentação, entre outras. Para garantir que o trabalho seja finalizado no prazo, é preciso ter um cronograma de obras determinando o tempo para cada tarefa. Em muitos casos, é possível contornar a situação sem prejudicar a o prazo de entrega estabelecido (CASTRO, 1999).

#### 2.1.3.4 Erros de execução

Um dos problemas mais frequente são os erros de execução. Problemas com desnível, portas e tomadas instaladas nos lugares errados, revestimentos desalinhados e muitos outros erros podem acontecer durante a execução do projeto. Resolver esses erros implica em mais gastos e tempo, portanto, devem ser evitados ao máximo. Para isso, engenheiro, arquiteto, mestre de obra, pedreiros e todos os profissionais envolvidos precisam manter uma comunicação clara e eficaz (CASTRO, 1999; HAMMARLUND; JOSEPHSON, 1992).

#### 2.1.3.5 Acidentes de trabalho

Acidentes de trabalho é um dos problemas que devem ser prevenidos e que afetam a obra. Não utilizar equipamentos de proteção individual (EPI), descumprir as normas de segurança em um canteiro de obras e falta de supervisão de um profissional são algumas atitudes que podem resultar em acidente. Os acidentes mais comuns na construção civil são: quedas em altura, cortes e lacerações causados por ferramentas, lesões por esforços repetitivos e exposições a altos ruídos. Para evitar esses problemas, é necessário a contratação de mão de obra capacitada. Com a supervisão de um profissional habilitado para isso. O fato é que problemas em uma obra, surgem rapidamente e podem afetar o tempo de conclusão da sua obra ou o seu orçamento (LIMMER, 1997).

#### 2.1.3.6 Atividades realizadas em períodos problemáticos

Além disso temos problemas com os períodos em que algumas atividades da obra são realizadas. Como por exemplo a execução de betonagem exposta ao clima de inverno rigoroso, quando tem ocorrência de geadas, faz com que a resistência seja influenciada negativamente. Os estudos de Vieira e Gonçalves

(2008) e Branco et. al (2015) descrevem os resultados de pesquisas sobre esse tema.

Em vários lugares da Europa existem temperaturas mínimas muito baixas, as quais influenciam diretamente na resistência do betão quando realizada a betonagem nessas épocas. O estudo de Manuel Vieira e Arlindo Gonçalves traz a ação das temperaturas negativas no início do processo de cura. A literatura aborda que a hidratação do cimento pode ocorrer a temperaturas até cerca de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No entanto, quando sujeita a temperaturas negativas, a água do betão congela, e assim diminui a quantidade de água líquida disponível para as reações de hidratação, retardando a presa e o endurecimento do betão. A água no interior do betão começa a gelar quando atinge cerca de  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Entretanto, à medida que congela, a concentração iónica na água líquida vai aumentando, baixando então o ponto de congelação. Define-se que por cada  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  de diminuição da temperatura, o tempo de início de presa aproximadamente duplica (VIEIRA; GONÇALVES, 2008).

Para caso o betão congele logo que seja aplicado, a presa não terá espaço, e então não haverá pasta de cimento para ser danificada pela formação do gelo. Assim, enquanto as baixas temperaturas se mantiverem, o processo de hidratação será interrompido. Quando a uma idade posterior ocorrer o degelo, o betão deverá ser revibrado. Devido à expansão da água de amassadura, quando congela, a ausência de revibração permitirá que o betão endureça com um grande volume de poros, com a conseqüente diminuição de resistência à compressão. Assim, a revibração durante o degelo deverá conduzir à obtenção de um betão satisfatório. No entanto, tal procedimento não é recomendável pela dificuldade em estabelecer os tempos de presa em obra. (VIEIRA; GONÇALVES, 2008).

Se o congelamento ocorrer após o betão ter iniciado a presa, mas antes de desenvolver uma resistência à compressão apreciável, a expansão associada à formação de gelo pode destruir a estrutura interna do betão, conduzindo a uma perda irrecuperável da sua resistência. E por esse motivo nesse trabalho iremos conduzir o cronograma para retirar a betonagem das épocas de invernos mais rigorosos. Para avaliar a influência das temperaturas negativas na resistência à compressão do betão, Manuel e Arlindo efetuaram um estudo experimental. O trabalho experimental foi efetuado em duas fases distintas: uma primeira na qual as temperaturas negativas aplicadas foram inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$  e uma segunda a  $-5^{\circ}\text{C}$ . Em ambas as fases se estudou o efeito da aplicação de um adjuvante anticongelante e da idade em que se iniciou a exposição às temperaturas negativas (VIEIRA; GONÇALVES, 2008).

No estudo foi concluído que a exposição do betão às temperaturas negativas nas primeiras horas provoca perdas significativas de resistência à compressão, em particular se tal ocorrer antes do início da presa. A redução da resistência atinge cerca de 50% aos 7 dias, e caso o betão fique exposto às temperaturas negativas após o início da presa aquela redução diminui para

cerca de 20%. Assim, considera-se que, na eventualidade do betão poder vir a estar exposto a temperaturas negativas, este deve ser protegido dessas condições até atingir um mínimo de resistência à compressão (VIEIRA; GONÇALVES, 2008).

Ainda sobre a influência da betonagem em baixas temperaturas, temos o estudo de Branco et al. que avaliou a resistência à compressão do betão exposto à baixas temperaturas. No trabalho é descrito que para concretagens em climas frios são necessários alguns cuidados na mistura, no lançamento e na cura para se evitar os efeitos prejudiciais do congelamento no concreto no estado fresco ou endurecido. Caso o betão congele antes do início de pega, a água de amassamento se transforma em gelo e ocorre o aumento do volume total do concreto. Como as reações químicas necessitam de água e ela encontra-se congelada, a pega e o endurecimento do betão são retardados e, conseqüentemente, existe pouca pasta de cimento que sofrerá desagregação pela formação do gelo. Com o degelo, posteriormente, ocorrerá a pega e o endurecimento do betão em condição expandida, com grande quantidade de poros, resultando na diminuição da sua resistência mecânica (BRANCO et al., 2015).

O estudo teve como objetivo principal analisar a resistência à compressão do betão submetido a baixas temperaturas, desde suas primeiras idades e sob cura por imersão até os 28 dias. Assim buscando avaliar a resistência à compressão de amostras submetidas a diferentes tempos de exposição à temperatura baixa, em cura por imersão (condições ideais) e ao ar livre (simulando situação real de obra), verificar se a cura sob condições ideais é capaz de minimizar os efeitos da baixa temperatura na resistência do betão e comprovar a influência negativa de temperaturas baixas a cura do betão (BRANCO et al., 2015).

A conclusão de Branco et al. foi que nas primeiras 3 horas de cura embora tenha havido perda de resistência, esta não foi significativa, atendendo à resistência requerida. A partir de seis horas de exposição à baixa temperatura, o betão apresentou perda significativa da sua resistência em 11%, comprometendo a resistência estimada de 20 MPa. Com 28 dias de cura a perda de resistência chegou a quase 25%, onde se verifica a grande influência da baixa temperatura no betão. Sendo assim, não é recomendado aplicar o betão quando a temperatura for inferior à 5°C, pois sua resistência será diretamente afetada, concluindo que há influência da temperatura na evolução da resistência à compressão do betão. Além disso, devem ser tomados cuidados especiais na betonagem em temperaturas próximas ou inferiores a 5°C, principalmente quanto à desforma dos elementos de betão armado, considerando que as temperaturas baixas reduzem o ganho de resistência inicial, o que leva a fissuração após a retirada do escoramento dos elementos de concreto, em função da redução da resistência à compressão em condições normais (BRANCO et al., 2015).

## 2.2 *Lean Construction*

### 2.2.1 Conceitos

#### 2.2.1.1 *Lean Thinking*

O pensamento enxuto como o nome diz, é o pensamento utilizado na construção enxuta, e vários processos dele são aplicados em busca de melhorias nas empresas em geral.

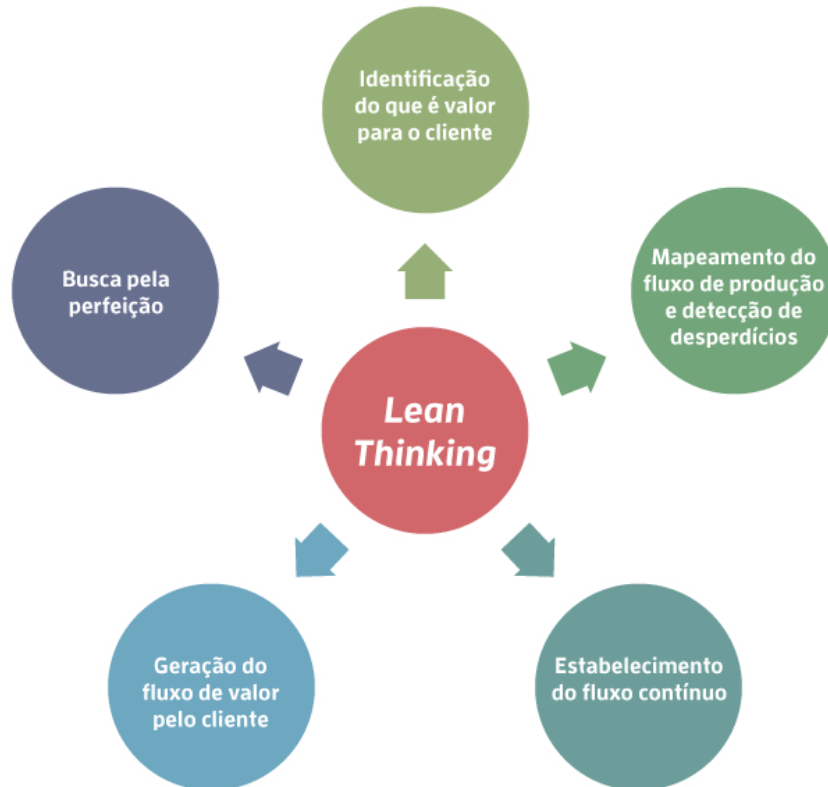
A *Lean Thinking* ou pensamento enxuto, tem ganho destaque em diferentes âmbitos, por ser tratar de um estilo diferente e efetivo de gerenciamento que busca não somente otimizar processos em busca de melhorias em toda parte de uma empresa, mas também concilia a preocupação ambiental em suas bases. A origem do nome pensamento enxuto vem da produção enxuta, a *Lean Production*, provinda do sistema de produção da Toyota Co. a qual teve um crescimento jamais visto e onde o planejamento e gestão dos processos mostrou ser o diferencial para melhorar desempenho (WOMACK e JONES, 1998; POPPENDIECK et al, 2002).

A possibilidade de diminuir o esforço humano, o espaço de fabricação, o investimento e o tempo de desenvolvimento de produto, além de aumentar a variedade de produto final, fez com que esse pensamento ganhasse uma importância grande no cenário empresarial, ainda mais por identificar o que significa valor para o cliente, agregando valor ao processo (WOMACK e JONES, 1998).

O pensamento enxuto foi aplicado em diversas áreas diferentes durante os anos e seus resultados mostraram o porquê de ser uma boa escolha para as empresas. Como exemplos de sucesso da aplicação do pensamento temos o HMO (Organização de manutenção da saúde) em Minnesota, o qual sempre teve agenda lotada para consultas, e o agendamento demorava semanas ou meses, mas com a aplicação do pensamento *Lean*, a partir do aumento da carga horária semanal trazendo a possibilidade de consultas agendadas com mais rapidez, verificou-se uma melhora no estado de saúde do pacientes em geral e uma facilidade para diagnósticos maior por se tratar com maior foco do problema (POPPENDIECK et al, 2002).

Outros exemplos como, a produção de óculos graduados assim que solicitados, pela empresa *Lens Crafters* mudou a base da concorrência no ramo, pela velocidade e variedade alcançada. A *Southwest Airlines*, empresa de viagens aéreas viu seus lucros subirem quando adotou o sistema de distribuição de assentos à medida em que os passageiros chegassem ao aeroporto, pois eliminou um processo que não levaria diretamente ao verdadeiro valor da empresa. E a Dell, empresa de informática, trouxe um diferencial que era necessário para o mercado em que era difícil destacar-se, a possibilidade de personalizar seu computador e receber seu produto em um tempo menor que o padrão, escolha que fez com que a empresa valorizasse seus clientes e diminuísse estoque e produtos sem destinação (POPPENDIECK et al, 2002).

Todas essas empresas tiveram melhorias por repensarem seus conceitos e utilizar pensamentos que reduziram, facilitaram etapas dentro dos seus processos, sendo esse o pilar do *Lean Thinking*, como mostrado na Figura 8.



**Figura 8 - Fluxograma contendo princípios do Lean Thinking**

Fonte: Rede Fellipelli

Um desenvolvimento enxuto tem 4 princípios, sendo eles (WOMACK e JONES, 1998):

- Não adicionar nada além do necessário (eliminar desperdícios);
- Focar nas pessoas que agregam valor;
- Fluxo de valor da demanda (sem atrasos);
- Otimizar ligação dentro das organizações.

Em seu primeiro princípio, inicialmente é preciso descobrir o que é valor, o que é necessário, para assim definir que o restante seria desperdício, porém essa análise deve ser de alto nível para não prejudicar o processo e ainda possibilitar a utilização do excesso por terceiros ou torna-lo lixo, para isso Taiichi Ohno, mentor do Sistema Toyota de Produção, identificou 7 tipos de

produção de resíduos na indústria, sendo eles descritos no Quadro 1 (OHNO, 1997).

**Quadro 1 - Tipos de produção de resíduo na indústria**

<b>TIPOS DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA</b>
Superprodução
Inventário
Etapas extras no processo
Movimentação
Defeitos
Espera
Transporte

Fonte: Ohno, 1997

Ainda sobre o primeiro princípio, mas que beneficia o demais temos o “Faça certo na primeira vez”, slogan que se seguido faz com que facilite todos os seguintes processos, que traz mais autonomia aos funcionários e ocorre a diminuição da produção de resíduos, algo que esse princípio busca. Juntamente com o “zero defeitos” eles podem ser considerados como política para testes em busca da perfeição (WOMACK e JONES, 1998; OHNO, 1997).

No princípio de valorizar as pessoas que agregam valor, dar maior responsabilidade para os trabalhadores é o foco, trabalhadores os quais assim podem identificar e corrigir erros no sistema com mais rapidez. Para desempenhar tal função, a equipe necessita passar por treinamentos específicos para aprimoramento de seu trabalho e assim auxiliar no andamento da produção mais intensamente (WOMACK e JONES, 1998; POPPENDIECK et al, 2002).

Ao focar no fluxo de valor dependente da demanda, buscando eliminar os atrasos, a produção não adiciona atividades no fluxo do processo que não agreguem valor, e sempre produzem de acordo com o necessário, no caso a demanda, fazendo com que o processo se torne mais flexível e rápido. Adotar esse estilo de produção diminui estoques, e traz facilidade para diagnosticar problemas nos processos, sendo a raiz do *Just in Time* (WOMACK e JONES, 1998; OHNO, 1997).

A maior dificuldade para utilização de práticas enxutas é organizacional, onde entra o quarto princípio do enxuto, otimização na ligação e comunicação

entre os departamentos da produção. A falta de entrosamento da equipe como um todo é uma das principais consequências de atraso dos processos, e a otimização parte da responsabilidade compartilhada, algo que muitas empresas têm aversão por causa de segurança, sobrecarregando e aumentando a dificuldade para encontrar erros na empresa. Quando essa responsabilidade está espalhada na empresa, ocorre a necessidade de intercomunicação entre esses setores para os processos funcionarem sem interrupção e com maior velocidade (WOMACK e JONES, 1998; POPPENDIECK et al, 2002).

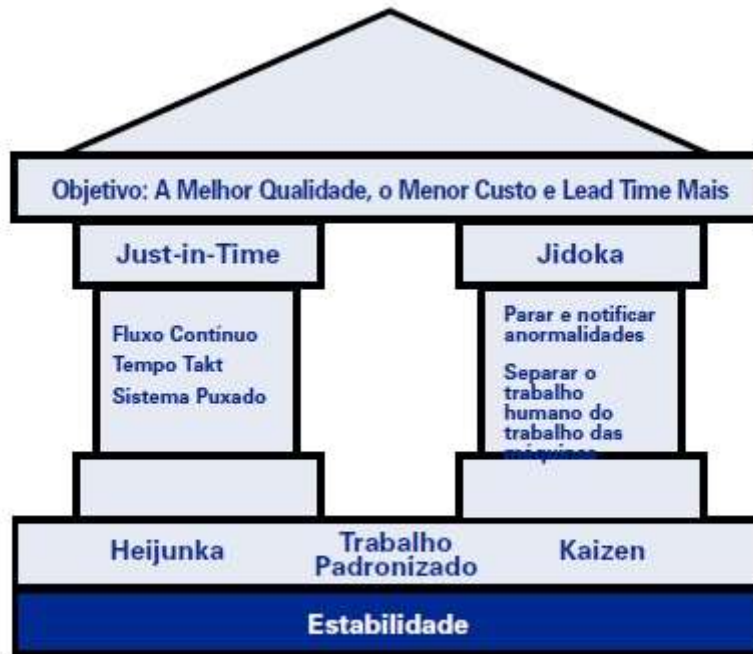
#### 2.2.1.2 Toyota Production System

O sistema de produção Toyota (SPT) é a base para a construção enxuta, desse método foi retirado a maioria dos princípios desse tipo de construção. O sistema Toyota surgiu com a necessidade de um novo conceito de produção, capaz de lidar com as condições da época, na qual tinha passado poucos anos da primeira crise do petróleo e assim as indústrias estavam com rendimento em queda livre. Com a implementação do sistema de produção a Toyota Co. teve um desempenho inigualável, e assim o foco dos estudos virou a empresa japonesa para entender como funcionava os fatores que levavam aqueles resultados. Assim revelou-se a utilização dos elementos chave que rompiam a tradicional forma de produção, o *Just in Time (JIT)* e o *Kanban*, a conclusão dos pesquisadores, foi de que para o sucesso maior do novo sistema de produção, as suas ferramentas não poderiam ser utilizadas de maneira isolada, e sim atribuindo todos seus métodos, princípios e técnicas juntos. Além da necessidade da implantação do conjunto do STP como um todo, havia uma demanda de entendimento total do processo desde sua natureza. O responsável pela criação desse sistema de produção é Taiichi Ohno, que com a colaboração de seu consultor de qualidade da Toyota na época Shineo Shingo, conseguiu implementar dentro da indústria japonesa seus pensamentos (GHINATO, 1995).

Sobre os elementos que constituem o Sistema Toyota de Produção, mostrados na Figura 9, temos o *Just in Time* o qual é o elemento mais estudado da indústria moderna, no qual trouxe uma verdadeira revolução dentro dos processos industriais. Essa ferramenta visa com foco principal itens em quantidade certa, na hora certa e no lugar certo, não se trata apenas de uma metodologia, mas sim uma filosofia, uma técnica e uma estratégia diferente. Sua influência não se dá apenas na área da produção, mas sim em todas as áreas da empresa. O JIT é um meio para o STP alcançar seu objetivo principal, que seria o aumento de lucros com a eliminação completa de perdas (SHINGO, 1996).

Além do JIT, outro elemento base para o sistema, é o *Jidoka*, ou autonomia, o qual consiste em dar autonomia para os operadores das máquinas, para quando ocorrer erros ou anormalidades no sistema, saberem parar o processo, assim podendo o mesmo operar diversas máquinas

simultaneamente aumentando a produção e fazendo com que a máquina tenha inteligência e toque humano. Seu conceito está mais ligado a autonomia do que propriamente automação, a ideia principal é impedir a propagação de erros no processo pois assim que o processo é paralisado, o defeito fica evidenciado e assim mais facilmente corrigido, e convergindo para um esforço em conjunto para identificar a causa e evitar reincidência (OHNO, 1997).



**Figura 9 - Esquema base do Sistema de Produção Toyota**  
 Fonte: Lean Institute Brasil

Para a reduzir ou eliminar os defeitos, dentro do STP ocorre o controle da qualidade zero defeitos (CQZD), o qual consiste em 4 pontos fundamentais em sua sustentação (GHINATO, 1995):

- Utilização da inspeção na fonte, conseguindo assim eliminar a ocorrência de defeitos já que é feita a verificação na origem desses, e não sobre o produto final;
- Redução do tempo de percepção do defeito e correção do mesmo;
- Método inspeção feita 100%;
- Reconhecimento de funcionários com possibilidade de erro.

A meta principal do CQZD é conseguir demonstrar o trabalho que está sendo realizado para eliminar os defeitos, esse controle a base operacional necessária para a prática da automação (SHINGO, 1996).

Apontado como modelo mais eficaz de produção mundialmente, fez com que diversos pesquisadores focassem suas pesquisas em cima do sistema e assim pudessem até mesmo criar alternativas e mudanças dentro dos princípios desse modelo de gerenciamento de produção. Uma possível mudança da estrutura do sistema foi publicada por Monden, no qual demonstra a incorporação desses elementos fundamentais, e seu trabalho simultâneo pode influenciar no resultado final da produção (MONDEN, 1984; GHINATO, 1995;).

A relação entre as ferramentas como a automação e a CQZD que inicialmente são independentes, é uma das principais associações estudadas, e que confirmam a influência positiva desses vínculos, tirando o foco apenas do *Just in Time*, que é a ferramenta mais famosa do sistema. A automação demonstra seu valor ao influenciar o processo em diversos aspectos como, melhoria nos pequenos grupos de trabalho, redução de custo pela eliminação de perdas, diminuição do trabalho da administração dando autonomia aos funcionários, aumento da qualidade assegurada criando um fluxo contínuo, e também um aumento na moral dos trabalhadores com a melhora no respeito à condição humana (MONDEN, 1984; GHINATO, 1995; FUJIMOTO, 1999).

Com todas as ferramentas do STP, foi denominado um estilo diferente de pensamento, um pensamento enxuto, conhecido como *Lean Thinking*, o qual pode ser aplicado em diversas áreas, saindo do âmbito industrial, como na *Lean Construction*.

#### 2.2.1.3 Last Planner System (LPS)

Para Ballard (2000), o LPS pode ser entendido como um mecanismo para transformar o que deveria ser feito no que pode ser feito, utilizando o plano de trabalho semanal. Outra definição do mesmo autor é a de que o LPS pode ser contextualizado como uma filosofia, regras e procedimentos que devem ser implementados na prática. O LPS é um sistema de planejamento e controle que nasceu da visão do planejamento baseado em atividades (KENLEY; SEPPÄNEN, 2010).

O LPS visa o aumento da produtividade, permitindo que as restrições tenham sido removidas antes das programações semanais, concentrando-se ativamente no início dos trabalhos. As restrições são bem definidas e direcionadas para determinar qual trabalho específico deve ser realizado (BALLARD, 2000; SEPPÄNEN et al., 2010).

O LPS assume que as atividades planejadas contêm incertezas e restrições que as inibem de serem iniciadas ou completadas no prazo. Incertezas e restrições incluem a disponibilidade oportuna de recursos e os requisitos prévios ao trabalho. As incertezas e restrições são reveladas e endereçadas ao processo de Planejamento de Médio Prazo (PMP) (KIM; BALLARD, 2010).

Das variadas ferramentas e métodos dos princípios da Lean Construction, já mencionados anteriormente, o Last Planner System (LPS) é o comumente mais utilizado nas empresas de construção para planeamento e o controlo da produção.

O Last Planner System foi desenvolvido nos Estados Unidos da América por Ballard e Howell nos anos 1990. Ao longo dos anos tornou-se a ferramenta mais popular do Lean Construction devido ao sucesso obtido em vários casos de estudo da sua implementação. De acordo com Ballard (2000) o LPS é um mecanismo que transforma o que deve ser feito (*SHOULD*) no que pode ser feito (*CAN*), permitindo criar um inventário do trabalho que pronto a ser realizado e a partir do qual são elaborados os planeamentos semanais, Weekly Work Plans (WWP). A atribuição de trabalhos no WWP implica um comprometimento de todos os intervenientes no trabalho que irá ser realizado (*WILL*) (BALLARD, 2000).

O principal objetivo do LPS é gerir de forma ativa e colaborativa e com o desempenho dos diversos intervenientes o planeamento da obra, reduzindo atempadamente os fatores de variabilidade e de incerteza que vão sendo identificados (BALLARD, 2000).

## 2.2.2 Processos e ferramentas

### 2.2.2.1 Princípios fundamentais da Lean construction

Dentro da construção civil, a possibilidade de aplicação de processos enxutos busca a melhoria na relação custo/tempo/sustentabilidade. Para buscar a relação os processos *Lean* são baseados nos onze princípios da construção enxuta, apresentados por Koskela (1992), sendo eles:

1. Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor;
2. Aumentar o valor do produto através da consideração nas necessidades do cliente;
3. Reduzir variabilidade;
4. Reduzir o tempo do ciclo de produção;
5. Simplificar através da redução do número de passos ou partes;
6. Aumentar a flexibilidade de saída;
7. Aumentar a transparência do processo;
8. Focar o controle no processo global;
9. Introduzir melhoria continua no processo;
10. Manter um equilíbrio entre melhorias nos fluxos e nas conversões;
11. Referenciais de ponta (benchmarking).

Para reduzir a parcela de atividades que não agregam valor, um passo inicial que pode ser dado é a definição de um layout pensado na circulação de materiais e trabalhadores, onde uma logística interna pode ser introduzida minimizando distâncias e assim diminuindo quantidade de atividades que não

agregam valor. Outro processo que entra nesse princípio é a possibilidade da substituição do vibrador convencional, demonstrado na Figura 10, que necessita de dois trabalhadores para operação, pelo vibrador portátil, mostrado na Figura 11, o qual necessita apenas um trabalhador, no momento da concretagem (KUREK, 2005).



**Figura 10 - Utilização do vibrador convencional**  
Fonte: Juliana Kurek (2005)



**Figura 11 - Utilização do vibrador portátil**  
Fonte: Construtora FG

Ao aumentar o valor do produto através da necessidade dos clientes, ocorre o controle de qualidade dos serviços, como a execução dos serviços com inspeção, e a utilização de ferramentas de qualidade como o PBQP-H, além do principal, a decisão do cliente onde deve ocorrer o foco na execução de qualidade dos serviços e onde pode ser direcionado uma maior quantidade de tempo (CORREIA, 2018).

No terceiro princípio, a redução de variabilidade, que é elevada, deve-se fazer uma padronização dos serviços e utilização de ferramentas para comparação de qualidade dos materiais. Os principais motivos de variabilidade dos serviços são, erros na execução dos serviços, intempéries, e atrasos por superestimação da equipe (ALMEIDA; PICCHI,2018; KOSKELA, 2020).

A redução do tempo de ciclo traz benefícios no controle e planejamento das atividades, uma vez que se tornam mais eficientes e possibilita a identificação de melhorias e defeitos. Para a redução acontecer, uma das alternativas é a contagem de tempo requerido em atividades com mesma quantidade e tipos de processos, e os dados obtidos serem demonstrados para a equipe, no objetivo de mostrar como é possível a diminuição do tempo se atividades forem executadas de maneira correta e como problemas ocorridos influenciam no tempo desse ciclo (KOSKELA, 2020).

O quinto princípio, simplificar através da redução de passos ou partes, a pré-fabricação é a principal alternativa. O aço cortado e dobrado já pelo fornecedor, como mostra a Figura 13, surge como principal proposta nesse princípio e já muito utilizado em obras, pois não necessita que na obra tenha um espaço separado para preparação do mesmo, como por exemplo na Figura 12, nem mesmo funcionários especializados e com menor tempo de espera para utilização do material. A realização da pré-moldagem de vergas e contra vergas faz também com que o serviço não tenha interrupção e assim fluindo de maneira mais rápida. E a compra de argamassa e concreto industrializado, como mostrado na Figura 14, é uma opção, porém necessita de um estudo maior de viabilidade e valor, mas sua economia de tempo faz com que se torne atraente (CORREIA, 2018; KOSKELA, 2020).



**Figura 12 - Aço sendo cortado e dobrado em obra**  
Fonte:Casa Serralheiro



**Figura 13 - Aço cortado e dobrado na indústria**  
Fonte: Ferro Norte



**Figura 14 - Concreto industrializado chegando em obra**  
Fonte: AEC Web

Para aumentar a flexibilidade de saída na construção, sua flexibilidade é dada pela execução e possibilidade de personalização que atrai clientes. Uma das alternativas é o método construtivo da laje plana, demonstrado na Figura 15, o que torna o *layout* dos pavimentos mais facilmente mutáveis, pois não existe a preocupação com a localização das vigas, assim a possibilidade de modificações aumenta (KUREK, 2005; KOSKELA, 2020).



**Figura 15 - Exemplo laje plana**  
Fonte: Inova Civil

No sétimo princípio da construção enxuta, o aumento da transparência traz como benefício a valorização da empresa e funcionários, para a possibilidade da melhoria da transparência interna, e melhoria da organização com a utilização de ferramentas de qualidade que controlem o canteiro em relação a organização. Também é uma alternativa que facilita o trabalho e a comunicação da equipe, com o uso de avisos e informações espalhadas na obra, baseados no *Kanban*, e a utilização de mural de avisos, torna a construção como um todo mais transparente para os funcionários entenderem qual o estágio e como está o andamento dos serviços, motivando e sendo sinônimo de qualidade. A transparência com valores e qualidades do produto final é parte da geração de imagem positiva da empresa algo bem avaliado por clientes (KOSKELA, 2020).

Focar o controle no processo global, para ocorrer o controle de maneira geral, é possível com a integração do planejamento das atividades de curto, médio e longo prazo, sem o adiantamento desnecessário de atividades. Assim ocorre a possibilidade de transferir as atividades de longo para médio prazo, onde é possível mensurar melhor suas restrições para que cheguem no plano de curto prazo facilitadas (KUREK, 2005; KOSKELA, 2020).

Para introduzir uma melhoria contínua no processo, a utilização de medidas corretivas e preventivas fazem com que os problemas causem menos estragos na melhoria da produção já que serão anulados na prevenção. Iniciativas de apoio e aumento da moral da equipe com atividades como caixa

de sugestões e bonificações por cumprimento de metas auxiliam no controle da melhoria contínua, pois se trata de uma ação participativa da equipe como um todo (KUREK, 2005; KOSKELA, 2020).

Manter o equilíbrio nas atividades de fluxos e de conversões, segundo Koskella (1992) está interligado em para ambas as partes, onde uma melhora em uma atividade faz com que a outra seja facilitada. Como por exemplo os processos de fluxos devem ser diminuídos por não agregarem valor e com a aplicação de nova tecnologia em processos de conversão, como utilização de elevadores para materiais, facilita e reduz o tempo da atividade de fluxo ligada a esse processo (KUREK, 2005).

O último princípio, de realizar *benchmarking*, é necessário a empresa conhecer todos seus processos e conseguir identificar processos semelhantes em empresas referências que estão com desempenho melhor em tal atividade, e adotar a prática em busca de melhorias para sua realidade (KUREK, 2005).

Todos os processos *lean*, baseados nos princípios citados por Koskella, tem referência no ciclo PDCA, o qual é descrito na Figura 16, que também visa um controle e melhoria contínua dos processos quando é aplicado. O ciclo funciona em 4 partes, sendo o “P” de *plan*, de planejar, onde é definido os objetivos e estudado possíveis melhoras, o “D” de *do*, do verbo fazer em português, parte em que é executado os planejamentos da etapa anterior, “C” de *check*, do verbo checar em português, etapa em que são verificadas as atividades em função dos objetivos, e “A” de *action*, do verbo agir em português, na qual são definidas ações corretivas, preventivas e de melhoria para os resultados obtidos na etapa de verificação, tornando-se assim um ciclo infinito de melhoria e controle.



**Figura 16 - Ciclo PDCA**  
 Fonte: Soft Expert

A seguir são descritas aplicações que mostram a quão ampla pode ser a aplicação e os benefícios da *lean construction*.

#### 2.2.2.2 Aplicações da construção enxuta

A aplicação da *lean construction* ao redor do mundo é feita de diversas maneiras, em diversos tipos de obra, mostrando assim sua abrangência no que se refere a construção. Os efeitos da construção enxuta trazem resultados a partir da sua utilização tanto na gestão quando na execução das obras.

- i. Introdução dos princípios da filosofia de construção enxuta no processo de produção em uma construtora em Passo Fundo-RS

Começando com aplicações e seus resultados no Brasil, Kurek (2005) propôs introduzir os conceitos da construção enxuta em uma empresa de construção em Passo Fundo, Rio Grande do Sul. Em seu trabalho foi observada a realidade regional e as oportunidades de melhorias nos processos de produção da empresa, a pesquisa foi um estudo de caso em que foi dividida em três fases. No início foi realizada uma análise exploratória, analisando a empresa e observando seu canteiro de obras. Em um segundo momento os princípios da construção enxuta foram apresentados e começaram as intervenções na obra. Na última fase, foram avaliados e discutidos os dados e proposta uma lista de verificação, para diagnóstico e para implantação dos

princípios enxutos em empresas construtoras. Em seu trabalho Juliana concluiu que as ferramentas de qualidade como PCP, programa 5S e também uma integração da construção enxuta com o PBQP-H, possibilitam a introdução dessa nova filosofia de produção e conseqüentemente gera melhorias. Destacou que a escolha da *lean construction* é a melhor solução para o gerenciamento no setor da construção civil, pois não se baseia exclusivamente em implementações de novas tecnologias, mas também direciona para racionalização dos processos já existentes. Além dos benefícios para a empresa analisada, foi verificada uma necessidade da ampliação de boas práticas do princípio enxuto em empresas de construção da região de Passo Fundo onde o trabalho se mostrou pioneiro (KUREK, 2005).

- ii. Avaliação da utilização dos princípios da construção enxuta em duas empresas do setor da construção civil no município de Rondonópolis-MT

Baseado no questionário de Kurek, seis autores escreveram um artigo avaliando a utilização dos princípios da construção enxuta em duas empresas do setor da construção civil em Rondonópolis no Mato Grosso (2005). No trabalho foi verificado o nível de utilização de dos princípios da construção enxuta por duas empresas em Rondonópolis, como ferramenta de avaliação foi utilizado o questionário de Kurek, a fim de diagnosticar o nível de como está cada princípio da mentalidade enxuta nessas empresas. Foi concluído que ambas as empresas mostram preocupação com processos que são considerados enxutos, buscando aumentar a produtividade e reduzir os custos, porém uma das empresas obteve um resultado melhor em relação ao índice utilizado na avaliação, o índice de construção enxuta, e mostrou que o *Lean*, não é a solução para todos os problemas das empresas, mas com a aplicação da filosofia na estratégia geral torna-se muito eficiente (COSTA NETO et al, 2015).

- iii. Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de são paulo

Outra aplicação da construção enxuta no Brasil foi feita por Luiz Celso Peretti, Ana Cristina de Faria e Isabel Cristina dos Santos (2013), o trabalho com o título “Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de São Paulo”, tinha o objetivo de verificar como eram adotadas as ferramentas e os princípios da construção enxuta em construtoras da região metropolitana de São Paulo, e para isso foi desenvolvido estudos de caso em 3 empresas de diferentes porte na região escolhida. Após discutido os itens da construção enxuta com os gestores das empresas, percebeu que havia um interesse dos que não conheciam para posteriormente implementar a filosofia e suas ferramentas. A empresa de médio porte já havia comprometimento na utilização das

ferramentas enxutas, é assim era referência para seus concorrentes. A empresa de pequeno porte desconhecia a filosofia e suas ferramentas e seus processos apenas buscam seguir as normas regulamentadoras e a grande porte mesmo com o desconhecimento, adotava princípios enxutos em partes da produção, de forma não estruturada e adaptada. Por fim os autores afirmam que o campo de pesquisa e conhecimento sobre a construção enxuta é novo e necessita de maturação, com novos pesquisadores focados no tema (PERETTI; FARIA; SANTOS, 2013).

- iv. Aplicação da Filosofia Lean Construction no Processo Produtivo de uma Empresa do Setor de Construção Civil

Para empresa especializada em construção de barracões e fabricação de peças em armação de concreto, Vitor Felipe e Silva de Oliveira Nery, Izabel Cristina Zattar e Vitor Ongarato de Oliveira aplicaram a filosofia da construção enxuta com o objetivo de propor melhorias para o processo produtivo da empresa. Primeiramente foi avaliado qual o nível de aplicação dos princípios da *Lean Construction*, e após isso identificado os sete desperdícios propostos pelo pensamento enxuto. Para compreensão da gestão da produção existente e os princípios aplicados, utilizou-se a observação direta junto com a aplicação do questionário, sendo verificado que poderiam sofrer mudanças e teriam potencial de melhoria. Após obter o resultado das possíveis melhorias foram sugeridas novas aplicações com base nos princípios da construção enxuta. O objetivo do artigo foi concluído pois mostrou que a aplicação da filosofia *Lean* não se dá apenas em investimentos tecnológicos, mas também em práticas na gestão e planejamento das empresas. Sugere ainda que empresas do mesmo ramo sejam diagnosticadas em busca de melhorias (NERY; ZATTAR; ONGARATO, 2017).

- v. *Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding*

Com as aplicações da construção enxuta pelo mundo temos Isabelina Nahmens e Laura H. Ikuma, analisando os efeitos da *Lean Construction* na sustentabilidade na construção modular de casas, foram aplicados 3 princípios da construção enxuta, redução de custos e aumento de lucro, otimização de recursos e melhorar o ambiente de trabalho e saúde. Foram feitos vários estudos de casos, e em cada um deles foi avaliado a influência em uma dimensão da sustentabilidade. Os efeitos resultantes foram significativos tanto na redução de desperdícios, como também social, eliminando os principais perigos na produção e economicamente ao reduzir as horas de produção. A pesquisa contribuiu para uma melhor compreensão na influência do pensamento enxuto na construção de casas modulares, como o exemplo na Figura 17, promovendo novas técnicas nesse ramo (NAHMENS; IKUMA, 2012).



**Figura 17 - Exemplo de casa modular**

Fonte: NAHMENS; IKUMA, 2012

*vi. Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production*

Ainda sobre moradias, porém na produção industrial destas, Matilda Hook e Lars Stehn (2008) estudou sobre a aplicabilidade dos princípios *lean* na produção industrial de moradias na Suécia, onde foi levado em consideração a cultura da produção já existente. A produção industrializada com a manufatura se mostra semelhante em diversos aspectos na cultura sueca, ambas com pouca aplicação das práticas de produção enxuta totalmente integradas, e foi concluído que a aplicabilidade das novas práticas é influenciada pela cultura tradicional predominante na região. A configuração atual necessita de uma cautelosa utilização dos princípios da construção enxuta, pela influência da cultura e da mentalidade dos trabalhadores, a qual pode ser trabalhada em busca de melhores resultados com a aplicação da mentalidade enxuta em habitações industrializadas (HOOK; STEHN, 2008).

*vii. Lean Management Model for Construction of High-Rise Apartment Buildings*

A aplicação dos princípios da construção enxuta em arranha-céus foi avaliada por Sacks e Goldin ano, no trabalho que verificou um modelo de gerenciamento enxuto na construção de prédios altos ou arranha-céus. A dificuldade no acabamento dos prédios se dá pela necessidade de personalizar os apartamentos de acordo com os projetos individuais dos clientes que são variados. A prática convencional é interrompida pela diferença de tempo das decisões dos clientes os quais resultam em longos períodos de atraso e insatisfação tanto do contratado quanto do contratante. Portanto uma aplicação do sistema de construção enxuto levou ao desenvolvimento de um modelo de gerenciamento que adota um grau maior de diversidades e tamanho de lote de materiais reduzidos. Os principais benefícios adquiridos são uma maior capacidade de personalizar os apartamentos, fluxo de caixa aprimorado e

redução no tempo do ciclo de entrega dos apartamentos (SACKS; GOLDIN, 2007).

viii. *Visual management in highways construction and maintenance in England*

E na construção de rodovias a aplicação da construção enxuta foi feita por meio de gerenciamento visual na construção e manutenção de rodovias na Inglaterra, trabalho realizado por Algan Tezel e Zeeshan Aziz. Cujo objetivo era investigar se as práticas atuais de gerenciamento visual em projetos de rodovia eram eficientes. Foram realizados 5 estudos de caso, e nesse foram descobertos que o atual gerenciamento visual é limitado, particularmente no campo da construção, e foram identificados pontos a serem melhorados ou corrigidos. Mesmo que o setor de construção de rodovias na Inglaterra venha implementando técnicas de construção enxuta ao longo do tempo, a leitura e acompanhamento visual, que é um princípio enxuto, com o auxílio do BIM (Modelagem de informações construtivas), como no exemplo da Figura 18, traz benefícios em relação ao gerenciamento (TEZEL; AZIZ, 2017).



**Figura 18 - Equipe de gestão trabalhando com auxílio do BIM**

Fonte: (TEZEL E AZIZ, 2017)

## 2.3 BIM

### 2.3.1 Introdução

A sigla BIM (*Building Information Modeling*) tem por tradução a Modelagem da Informação da Construção. Modelo, é uma representação física, conceitual ou matemática de um fenômeno real que é difícil de observar diretamente. Modelos são utilizados para explicar e prever o comportamento de objetos ou sistemas reais e são usados em uma variedade de disciplinas científicas, variando de física e química à ecologia e às ciências da Terra. A modelagem é um componente central da ciência moderna, porém os modelos, são aproximações dos objetos e sistemas que representam e não são réplicas exatas. De entre os diversos tipos de modelos, os computacionais podem ajudar a traduzir observações em uma antecipação de eventos futuros, um campo de testes para ideias, basear extração de dados e simular condições e comportamentos. As respostas são então utilizadas para entender, projetar, gerenciar e prever o funcionamento de sistemas e processos complexos (CALDER et al., 2018; FRIGG; HARTMANN, 2018; SACKS et al., 2018).

A metodologia BIM começou a ser idealizada entre as décadas de 70 e 80. Surgia a necessidade de uma base de dados integrada com todas as informações do projeto, que pudesse exprimir análises visuais e quantitativas. Essa nova tecnologia beneficiaria os empreiteiros, os projetistas e o consumidor final. Por meio dessa necessidade, estudos começaram a ser desenvolvidos e em 1986 foi feita a primeira publicação que contém essa metodologia com a nomenclatura e o significado que conhecemos hoje. Existem várias definições sobre o que é o BIM, isso acontece pois trata-se de uma metodologia em construção na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Portanto, o objetivo da metodologia é definido pelas ações necessárias para criar o modelo e analisá-lo (AISH, 1986; SACKS et al., 2018).

O aumento da complexidade dos edifícios fez com que fosse necessário recorrer a inovações tecnológicas que facilitem o processo de construção e sua manutenção. Neste âmbito, surge o *Building Information Modeling* (BIM) como uma metodologia inovadora que procura dar resposta a estas novas exigências do processo de concessão, construção e manutenção de edifícios. O BIM é definido como uma representação digital de um objeto construído pelas suas características físicas e funcionais que envolve a aplicação, manipulação e manutenção de informação relativa a todo o ciclo de vida de um determinado edifício através de um modelo de dados, virtual, rico e consistente. O BIM sistematiza assim, um conjunto de políticas, processos e tecnologias interrelacionados, e proporciona uma metodologia para gerir o projeto do edifício e os seus dados, num formato digital, ao longo da vida do edifício (EASTMAN et al., 2011; GU; LONDON, 2010; LINO et al., 2012).

O BIM encontra-se em constante evolução. Partiu do 3D, onde é construída a geometria tridimensional e materiais dos edifícios e se retiram plantas, cortes, renderizações, interação com toda a arquitetura e se estudam análises estruturais. Passa pelo nível do 4D, onde o construtor recolhe toda a

informação necessária, de forma a planejar todas as fases construtivas que irão acontecer e onde é realizada a gestão das especialidades a intervir (EASTMAN et al., 2011).

Após a definição de todos os serviços, consegue-se prever por meio do 5D, os custos a que estes estão sujeitos e estudar as diferentes formas de maneira a economizar o preço final da obra. Com o 6D é possível apoiar as análises energéticas que cada vez mais são exigidas, numa indústria que tem em grande consideração a sustentabilidade. O BIM 7D está presente em todo o ciclo de vida do edifício através do *facility management* (FM) onde são previstas todas as operações de manutenção. E recentemente acrescentou-se o 8D que integra a fase final denominada de *Integrated Project Delivery* que se refere ao entregáveis finais que se obtém com base no modelo como é o caso de desenhos de execução e mapas de quantidades ou até mesmo, o modelo em si. Assim, os benefícios retirados desta metodologia integram áreas que são melhoradas graças ao faseamento, produtividade, processo de fabricação, construção e visualização 3D. A geração de modelos BIM precisos, sem falhas, é bastante importante, visto que afeta a credibilidade do modelo. Esta credibilidade é traduzida por fatores como o nível de detalhe (a nível de geometria) ou o nível de desenvolvimento (que inclui informação não geométrica). (BIMForum, 2012; MAHDJOURI et al., 2012)

O modelo BIM é, justamente, chamado de “*rich model*” por ser um modelo 3D paramétrico onde todos os objetos têm as suas propriedades e as suas relações internas em que, para além da geometria e texturas, representa virtualmente os componentes e objetos que integram a construção do edifício bem como permitem realizar simulações e cálculos avançados utilizando a informação que lhe é adicionada. A criação do modelo virtual é feita através de objetos paramétricos criados no diverso *software* disponível que traduzem os componentes a construir. Estes elementos contêm todas as características necessárias de forma a ser possível compreender determinados comportamentos das estruturas, que poderão vir a acontecer, mesmo antes de se iniciar a construção. Com isto, é ainda acrescentada a interoperabilidade que esta metodologia fornece ao possibilitar a comunicação entre os diversos intervenientes da obra (dono de obra, arquiteto, engenheiro, construtor) que gerem as suas diferentes especialidades no mesmo modelo. Desta forma, erros e omissões são evitados, devido às atualizações efetuadas em tempo real, o que elimina a necessidade de realizar retrabalho quando surgirem novas alterações no projeto (BALLESTY, 2007; LEE et al., 2006).

## 2.3.2 BIM na indústria da construção

### 2.3.2.1 Descrição

O BIM simula o projeto da construção em um meio virtual. Com essa tecnologia é possível um modelo preciso da obra construída virtualmente. Quando completo, o BIM contém informações precisas e relevantes em relação ao design, fabricação, compras de materiais, e processos que vão ser

realizados na construção. Após a construção ainda é possível utilizar para operações e manutenção (EASTMAN et al., 2011).

O *Building information model* caracteriza a geometria, relações entre projetos, informações geográficas, quantidades e propriedades dos elementos da construção, custos estimados, inventário dos materiais e o calendário do projeto. Assim o modelo por demonstrar o ciclo da obra por completo (BAZJANAC, 2006).

BIM pode ser visto como um processo virtual que engloba todos os aspectos e sistemas de um único projeto, que facilita o trabalho da equipe toda (proprietário, arquitetos, engenheiros, contratantes, subcontratantes e fornecedores). Com o modelo criado, a equipe segue realizando vários ajustes de acordo com as especificações do projeto e mudanças na execução para que fique o mais preciso possível (CARMONA; IRWIN, 2007).

É importante ressaltar que o BIM não é apenas um software, é um processo e um software. Não significa apenas usar um modelo inteligente tridimensional, mas também possibilita mudanças no fluxo do trabalho e no processo de entrega do projeto (HARDIN, 2009).

Tratando o BIM como uma ferramenta inovadora na maneira de projetar e gerenciar os projetos, Salman Azhar em seu artigo conclui ainda que o desempenho e controle do edifício é melhorado com a utilização desse modelo, além disso aumenta e acelera a colaboração e entendimento das equipes envolvidas, conseqüentemente melhora a lucratividade e reduz custos. Em seu trabalho foram demonstrados valores que mostram o potencial dessa ferramenta em relação a economia na obra.

Dentro da indústria da construção civil, o BIM representa um novo desafio, que seria a integração de todas as partes interessadas no projeto. No início da utilização a ferramenta, os arquitetos não compartilhavam os modelos digitais com os empreiteiros, algo que causava problemas durante a execução, mas com o compartilhamento das informações, foi possível o entrosamento da equipe e assim a ocorrência de menos erros. E aumentar essa integração é o maior desafio, o futuro do BIM é empolgante e espera-se que o uso seja crescente na indústria da construção sempre buscando melhoria no desempenho e custo das construções (AZHAR, 2011).

Avaliando para todos os âmbitos da construção, BIM não é apenas sobre a construção ou pacote de dados, mas também como ele se conecta totalmente ao projeto. Desde a infraestrutura que desempenha um papel vital na construção, mas em muitos desses projetos não são vistos porque eles estão enterrados abaixo da superfície. Também na infraestrutura de projetos como túneis, ferrovias e estradas são frequentemente de extrema importância nacional e são importantes para a economia de um país. O termo Modelagem de Informações de Construção é um pouco enganoso, porque BIM é como um verbo. Em vez de pensar em construir como uma estrutura com telhado e

paredes ou um envelope, pense no termo construção como na ação de construir. BIM não é apenas design, ele cobre todo o cronograma do projeto, incluindo a preparação, conclusão prática e gerenciamento de projetos (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

#### 2.3.2.2 Benefícios

O principal benefício de um *Building information model* é sua representação geográfica precisa de todas as partes do edifício, em um programa que integra todos os dados. (CRC Construction Innovation 2007) Além disso existem mais benefícios, como (AZHAR, 2011):

- Processos mais rápidos e eficazes: a informação é passada de forma mais fácil e rápida, agregando valor ao processo.
- Melhor design: os projetos podem ser analisados mais rigorosamente, a partir das simulações que permitem comparações, melhorias e soluções pois são mais fáceis de visualizar.
- Custo de vida dos materiais e o desempenho dos ambientes controlados: O desempenho dos ambientes, como acústica, iluminação são controláveis, e o custo de vida são compreendidos.
- Melhor qualidade da execução: com a documentação do projeto flexível é possível um melhor acompanhamento e também possibilita uso de automação.
- Montagem automatizada: com os dados digitais do projeto é possível automatizar processos, como fabricação e montagem de sistemas estruturais.
- Melhor atendimento ao cliente: os projetos são mais bem compreendidos com uma visualização precisa.
- Dados do ciclo de vida: Projeto, materiais, informações que podem ajudar na gestão e manutenção das instalações.

Como exemplo desses benefícios temos a *Stanford University's Center for Integrated Facilities Engineering* que depois de coletar dados em 32 projetos de grande porte relatou os seguintes resultados (citados em CRC Construction Innovation 2007):

- Eliminação de até 40% de alterações no projeto que não foram orçadas inicialmente.
- Precisão da estimativa de custo dentro de 3% em comparação com estimativas tradicionais.
- Redução de até 80% no tempo necessário para gerar uma estimativa de custo.
- Uma economia de até 10% do valor do contrato por meio de detecção de conflitos e problemas previamente.
- Redução de até 7% no tempo do projeto.

Ainda sobre o processo de design do projeto que com o passar do tempo saiu da prancheta de desenho para os computadores. Hoje os arquitetos e engenheiros estão modelando os edifícios em vez de apenas desenhá-los, e as aplicações são detalhadas e resultam em mudanças consideráveis na abordagem do projeto. Tradicionalmente, a equipe do projeto produzia e visualizava juntos desenhos 2D para aplicar uma representação 3D. Agora, os desenhos 2D são retirados de um Modelo 3D. Arquitetos e engenheiros os geram com facilidade usando computação gráfica, permitindo que a indústria da construção produza os documentos de projeto e construção mais rapidamente. Assim o cliente, o consumidor final e os gestores das instalações podem fazer um design mais eficaz, podendo haver decisões pouco antes ao processo de produção, o que significa que a equipe do projeto tem mais oportunidades de aumentar a eficiência de coordenação, colaboração e produção (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Outro benefício citado no livro “*Building information modeling for Dummies*” é o uso de tecnologia e processos colaborativos, o que traz maior colaboração entre as equipes de projeto, que por sua vez leva melhores resultados no projeto através da melhoria da qualidade e precisão do fluxo de informações e dados (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

A definição de construção digital é uma combinação de pessoas que inovam, ferramentas digitais e processos integrados, todos sustentados por informações. Os clientes de hoje não buscam apenas a construção física convencional, mas eles também querem adquirir as informações digitais que podem ajudar eles fazer escolhas ponderadas sobre o investimento que está sendo feito, manutenção futura e operação desse mesmo ativo (AZHAR, 2011; MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Para exemplificar como os benefícios são relevantes, podemos tratar do Reino Unido, onde a estratégia de construção do Governo foi colocada em 15 a 20 por cento como meta para redução de custos, onde essas economias de custo seriam do orçamento de construção e não custos pós-ocupação. Os benefícios seriam apresentados pelo desempenho melhor na produção, maior clareza do projeto e redução de riscos, que são todos fatores integrados e possíveis de quantificar e compreender (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Para alcançar os benefícios descritos pelo governo do Reino Unido e fazer uso inteligente e da melhor forma de informações, é necessário um bom fluxo de informações em todas as equipes de projeto. O grande desafio para o BIM está nas fases de operação e manutenção de um projeto. Essas informações podem ser usadas para obter desempenho otimizado, custos operacionais, energia e reduções de carbono. O BIM traz grandes benefícios ao processo de design, onde o cliente pode testar e aceitar ou descartar rapidamente diferentes oportunidades e configurações para alcançar resultados ideais em termos de custo, qualidade e tempo.

No início os benefícios do BIM não eram identificados nem contabilizados. Após alguns anos a indústria da construção começou a avaliar os benefícios em todo o mundo, por meio de projetos experimentais, estudos de casos e pesquisas. Como por exemplo o Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido criou projetos denominados Avanti em 2002. Em vez de um projeto específico, Avanti é uma abordagem cuja função é fazer as pessoas trabalharem juntas, fornecendo processos para permitir a colaboração e aplicando ferramentas para apoiar o trabalho colaborativo. Uma série de estudos de caso demonstraram uma economia significativa obtida com o uso de técnicas BIM (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Além disso o BIM traz mais do que certeza de custos e economia. Com a sua utilização foi possível começar a construir mais inteligente, mais rápido e preservando mais o meio ambiente. É possível usar suas informações do projeto ao longo de toda a linha do tempo, passando pelas fases de ocupação e manutenção, onde pode ocorrer mais economia de custo e carbono (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Além dos benefícios a longo prazo, existem muitos benefícios imediatos, incluindo:

- Mais por menos: o BIM oferece melhor custo-benefício. Outra maneira de olhar para o custo economia é pensar mais nos resultados do que nos exemplos individuais. Em vez de mostrar que o BIM pode economizar, digamos, 20 por cento em um projeto, demonstrar que pode produzir cinco edifícios pelo preço de quatro.
- Certo da primeira vez: porque a equipe do projeto está usando e compartilhando as mesmas informações de base, há mais chances de usar informações atualizadas, o que significa menos erros e possivelmente o acerto na primeira vez.
- Construa melhor antes de construir: Construir digitalmente antes de se comprometer com a real construção física significa poder testar e analisar os dados primeiro, resultando em um design otimizado antes do início da construção.
- Soluções mais inovadoras: Através do BIM é possível explorar muitas oportunidades diferentes em um espaço de tempo relativamente curto e testar o resultado e o desempenho dessas opções, resultando em soluções inovadoras.
- Melhor colaboração: O processo BIM une a equipe do projeto por meio de padrões comuns, melhor comunicação e o uso de um ambiente de dados comum, tudo isso contribui para uma melhor colaboração.
- Retenção e atração da melhor equipe: Adotando processos e procedimentos enxutos coloca toda a organização alinhada em busca de novos desenvolvimentos e ideias.

### 2.3.3 Aplicações BIM

#### 2.3.3.1 Propósitos para aplicação

O *Building information model* pode ser usado para os seguintes propósitos (AZHAR, 2011):

- Visualização: Com a utilização das renderizações 3D que podem ser facilmente geradas;
- Layouts de lojas ou indústrias: é possível gerar diferentes layouts para diferentes necessidades de construção
- Revisões de normas: Corpo de bombeiros e outros oficiais podem usar esses modelos para a revisão dos projetos da construção.
- Estimativa de custos: o software BIM tem um recurso embutido que estima os custos e recursos. Quantidades de materiais são automaticamente extraídos e atualizados quando quaisquer alterações são feitas no modelo.
- Cronograma da obra: um BIM pode ser utilizado de forma eficaz para coordenar a chegada e pedido de materiais, sequência da construção e cronograma de entregas para todas as partes da construção.
- Detecção de conflito, interferência ou problemas de colisão de objetos: Isso porque modelos são feitos em 3D, assim todos os principais sistemas podem ser instantaneamente verificados quanto a esses problemas. Como por exemplo, é possível verificar cruzamento de vigas, dutos e paredes.
- Análise forense: um projeto em BIM pode ser facilmente adaptado para ilustrar graficamente falhas, vazamentos, planos de evacuação que determinadas leis determinam. Por exemplo em projetos de prevenção de incêndios.
- Gestão de instalações: Departamentos de gestão de projetos pode usá-lo para reformas, planejamento de espaço, e operações de manutenção.

#### 2.3.3.2 Exemplos de aplicações

A seguir temos os exemplos de projetos em que foi utilizado o BIM, é possível ver o quão amplo é sua aplicação.

- i. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies

Para exemplificar uma das aplicações, temos o estudo de caso realizado para ilustrar a parte prática da revisão bibliográfica de *K. Chen et al.* (2017). Essa revisão bibliográfica tem como objetivo destacar a importância da sincronização das informações entre o BIM e os processos que estão sendo executados em tempo real no projeto. O conceito de sincronização desses dados é denominado "*bridging BIM and Building*" (BBB), e o estudo de caso escolhido foi a produção de casas pré-fabricadas em Hong Kong (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Nesse projeto o desenvolvedor visa alcançar melhor tempo, qualidade, custos, segurança e impacto ambiental, melhorando assim o processo usando os mais recentes instrumentos tecnológicos, como o BIM. O processo consiste em uma série de decisões a serem tomadas, onde o desenvolvedor deseja informações em tempo real para que possa tomar decisões certas e assim atingir seus objetivos. Espera-se que o BIM seja a plataforma ideal para fornecer essas informações, pois pode ser sincronizado com o processo de pré-fabricados produção habitacional. Foi determinado que para entender o processo de produção é necessário simplificar e examinar a disponibilidade e adequação de tecnologias primeiro, em vez de projetar a arquitetura do sistema precipitadamente (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Nesse projeto o desenvolvimento do design não foi convencional, pois era necessário um nível de detalhes maior, já que após a conclusão dessa etapa uma lista de componentes pré-fabricados e suas quantidades são extraídos do modelo e utilizados para compra dos componentes. No estágio de fabricação dessas peças, todas as informações foram repassadas para serem fabricadas de acordo com o necessário para uma construção padronizada, sendo cada peça indicada com número e nomenclatura, as quais passam por um processo de verificação de qualidade (também informada no BIM) e possibilita o depósito das informações dos mesmos quando já encaixados (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

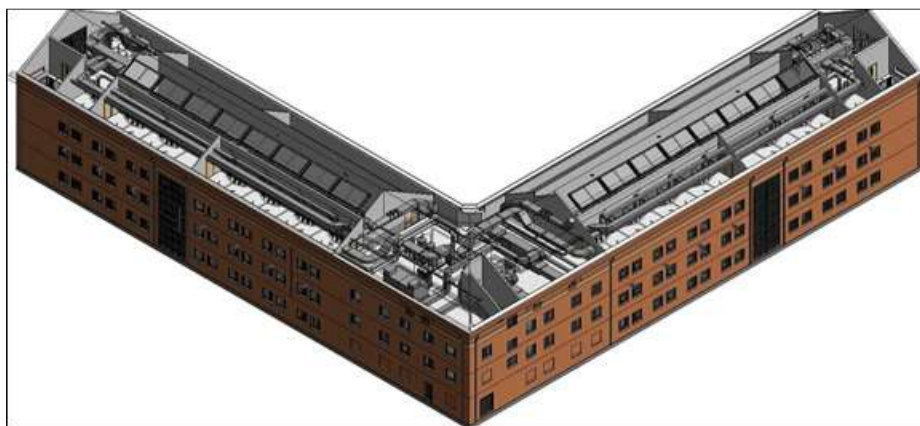
O cronograma de entrega das peças também é descrito em tempo real no BIM, sendo que as peças mudam de *status*, de “armazenado” para “entregue” quando chegam ao destino. Assim o cliente e o contratante podem saber quais as peças já entregues por meio do BIM. Na instalação, os trabalhadores usam as etiquetas dos componentes pré-fabricados para obter os locais das peças no BIM, o que garante que nenhum pré-fabricado será instalado no local errado. Quando um componente é instalado, um trabalhador verifica a etiqueta incorporada e atualiza o status de "recebido" para "instalado" no banco de dados do BIM. O contratante pode consultar o status de cada componente no modelo virtual para obter informações sobre o tempo real do processo de construção. Neste caso, o objetivo do cliente é alcançar o '*Just-in-time (JIT)*', para não haver estoque de peças (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Como neste projeto, todos os componentes foram instalados com etiquetas para identificação e rastreamento conectadas ao BIM virtual, os gerentes de instalações podem obter rapidamente a localização exata dos componentes do modelo para inspeção periódica, análise e manutenção. Sensores também serão usados para monitorar o desempenho e capturar dados. Nesse estudo de caso foi concluído que ao integrar e sincronizar os processos da construção ocorre a diminuição da descontinuidade e problemas existentes na linha de produção desses processos, as partes interessadas entenderam bem suas posições na estrutural geral o que potencializa suas tarefas. Além disso na parte de desenvolvimento do projeto, beneficiou na análise dos processos, aumentando a flexibilidade para serem modificados,

tanto na pré-fabricação quanto no estaleiro. Outra contribuição ao aplicar o *bridging BIM and building* é a possibilidade de coletar informações do projeto por diferentes plataformas e armazená-las no banco de dados do BIM, o que facilita o acesso de todos os interessados (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

ii. Utilização do BIM na reconstrução de uma prisão no Reino Unido

Outro estudo de caso interessante para analisar ao avaliar os benefícios do BIM é Cookham Instituto de infratores jovens. Para testar a indicação do governo do Reino Unido para o uso BIM, ele selecionou uma série de projetos como teste. O Ministério da Justiça (MOJ) inglês tem implementado formas diferentes de aquisições e engajamento de empreiteiros, assim utilizou-se o BIM. Em vez de realizar reparos caros, o MOJ decidiu reconstruir parte da prisão, compreendendo um novo bloco de alojamento com 179 quartos e um espaço educacional associado ao Conselho de Justiça Juvenil mostrado na Figura 19. Este projeto foi uma oportunidade ideal para testar os objetivos das iniciativas de estratégia de construção do governo do Reino Unido, como a maior utilização do BIM (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).



**Figura 19 - parte da prisão de Cookham reconstruída**  
Fonte: MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016

Segundo os participantes do projeto, mais de 34 atividades foram realizadas na obra, contando pré-licitação e pós-licitação, o que permitiu avaliar os benefícios e coletar as informações necessárias para o governo do Reino Unido sobre a aplicação do BIM. O projeto não somente provou que o BIM era o melhor processo a ser aplicado, como também resultou em 20% de economia no orçamento, devido a compatibilização do projeto, que facilitou a execução como um todo (MORDUE; SWADDLE; PHILP, 2016).

Outra aplicação interessante do BIM, é a sua utilização na gestão de riscos de projetos, a qual foi realizada uma revisão por Y. Zou et. al. (2017). Levando em consideração que a implementação da gestão de risco tradicional ainda é uma tarefa manual, a avaliação depende fortemente de experiência e análise matemática, e a tomada de decisão é frequentemente baseada no

conhecimento e na intuição, assim leva a uma diminuição da eficiência (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Para superar obstáculos dessa gestão de riscos, algumas tecnologias de informação, por exemplo BIM, 4D CAD e Virtual Reality (VR), foram aplicados na indústria da construção para gerenciar riscos. Por exemplo, o planejamento e a identificação do risco de segurança da construção é uma questão abordada pela visualização 3D / 4D. O BIM pode ajudar a detectar automaticamente choques espaciais físicos e requisitos específicos de códigos de construção podem ser interpretados como regras de leitura por máquina e verificados automaticamente em modelos de informação da *Industry Foundation Classes* (IFC). Além disso abordou um sistema de monitoramento usando Sistema de Posicionamento Global (GPS) em combinação com Identificação por radiofrequência (RFID) para melhorar a segurança de levantamento de guas móveis / de torre (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Duas razões podem explicar o crescente interesse na utilização dessa tecnologias de informação para gestão de risco. A primeira razão é que como o a indústria se beneficiou das vantagens técnicas vindas do BIM e outras tecnologias digitais, uma consequência natural é investigar suas possibilidades na gestão de risco. Estas novas técnicas poderiam não apenas fornecer novas ferramentas de design e métodos de gestão, mas facilitam significativamente a colaboração, comunicação e cooperação para dentro e entre as organizações, que são essenciais requisitos para gerenciar riscos com sucesso. A segunda razão vem de um forte impulso da política governamental aos fabricantes que perceberam a importância de integrar as tecnologias com gerenciamento de riscos. Prova disso é a nova versão dos regulamentos do CDM no Reino Unido que irá abranger as tecnologias de informação, como o BIM, substituindo a versão mais antiga que foi introduzida no Reino Unido inicialmente em 1996 para melhorar a segurança e o risco gestão (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Embora a maioria dos artigos utilizando BIM como uma ferramenta avançada para gerenciar os riscos do projeto, como erros de design, qualidade e orçamento muitas vezes não se referem à gestão de risco intencionalmente, o processo de aplicação do BIM pode ser visto, até certo ponto, como uma forma sistemática de gerenciamento de riscos. Exemplos são apresentados no Quadro 2. Nas fases de planejamento e design, um dos principais riscos é como o projeto se alinha com a viabilidade do projeto determinado, garantido orçamento e regime de execução estabelecido (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

**Quadro 2 - Exemplos de benefícios na gestão de riscos**

<b>FUNCIONALIDADE</b>	<b>BENEFÍCIOS PARA GESTÃO DOS RISCOS</b>
Visualização 3D	Facilitando a identificação precoce de riscos e a comunicação de informações
Identificação de conflitos no modelo	Detecção automática de conflitos físicos no modelo
Cronograma e planejamento com a construção 4D	Facilitando a identificação precoce de riscos e a comunicação; Melhora o nível de gestão de construção
Estimativa de custo e fluxo de caixa com o BIM 5D	Planejar, controlar e gerenciar o orçamento e os custos de maneira otimizada
Acompanhamento do progresso da construção	Melhorar o nível de gestão de qualidade, segurança, tempo e orçamento
Gestão da segurança	Reduzindo os riscos de segurança do pessoal
Gerenciamento de espaço	Melhorar a consideração da distribuição do espaço e gestão em design
Controle de qualidade	Melhora qualidade da construção
Análise estrutural	Melhora segurança da estrutura
Planejamento do cenário de risco	Reduzindo os riscos de segurança do pessoal
Operação e manutenção, gestão de instalações	Melhorar o nível de gestão e reduzir os riscos
Invariabilidade	Reduzindo a perda de informações na troca de dados
Colaboração e comunicação facilitada	Facilitando a identificação precoce de riscos e a comunicação
Planejamento e design urbano	Integração de planejamento e desenho de espaço urbano e projetos de engenharia e arquitetura; facilita o planejamento, design e gestão do uso do terreno

Fonte: ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017

Ainda existem sistemas para compartilhamento de experiência como o BIM Sistema de gestão (BIMKSM) que pode permitir aos gestores e engenheiros para compartilhar conhecimento e experiência no ambiente BIM. Com o objetivo de gerenciar os riscos de segurança no projeto, existe um dicionário de sugestões para trabalhadores da construção civil e um modelo de restrição para armazenar as sugestões formalizadas. Então no ambiente do BIM, os designers podem utilizar softwares de verificação de regras para identificar riscos de segurança durante as fases de planejamento e projeto, para reduzir riscos e otimizar seus projetos. O sistema consiste em três partes:

BIM como a principal entrada de informação, um sistema baseado em conhecimento e experiência e um módulo de identificação de riscos (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Ainda é possível englobar a realidade virtual (VR) que é uma área importante na pesquisa BIM atual. Conceitualmente, VR é um sistema virtual que consiste em um computador capaz de animação em tempo real, controlado através de um grupo de equipamentos para simulação física presença em lugares do mundo real. Nesse caso o VR foi usado para fornecer um ambiente de computador 3D, virtual e interativo para treinar os trabalhadores do local para se tornarem cientes da identificação no local riscos de segurança e estratégias de formalização e medidas de riscos potenciais, simulando o perigo em cenários. Existe uma plataforma multi-cliente interativa baseada em jogos para segurança treinamento para melhorar a segurança da operação do canteiro de obras (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Na revisão foi mostrado que o BIM e vários dispositivos digitais de tecnologia foram utilizadas para auxiliar a gestão de risco durante o ciclo de vida de um projeto. Essas tecnologias incluem verificação automática de regras, sistemas baseados em conhecimento, sistemas de segurança reativos e proativos. Concluiu-se que o desenvolvimento de novas tecnologias para auxiliar com a gestão dos riscos de segurança da construção é atualmente um tópico de pesquisa influente. No entanto, qualquer projeto da engenharia civil e arquitetura começa com o planejamento e design seguido pela fase de construção com duração de meses ou anos e, eventualmente, o projeto entrará no período de operação que pode durar décadas antes da demolição. Assim vários tipos de riscos podem estar presentes nas diferentes fases de o ciclo de vida do projeto e do produto. E pessoas com diferentes conhecimentos antecedentes e de diferentes domínios podem estar envolvidos no processo de gestão de riscos (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

Claramente, é necessário combinar gestão de risco tradicional e a baseada em BIM para melhorar a prática e aplicabilidade. O potencial e os benefícios foram comprovados por vários projetos. E para citar a combinação usa um exemplo onde foi convertido o tradicional método de gestão de risco em informações visuais em um ambiente de visualização para melhorar a eficiência para os profissionais na gestão de risco dinâmica em termos de cronograma, custo e segurança para auxiliar no projeto, construção e gerenciamento de um projeto de ponte estaiada (ZOU; KIVINIEMI; JONES, 2017).

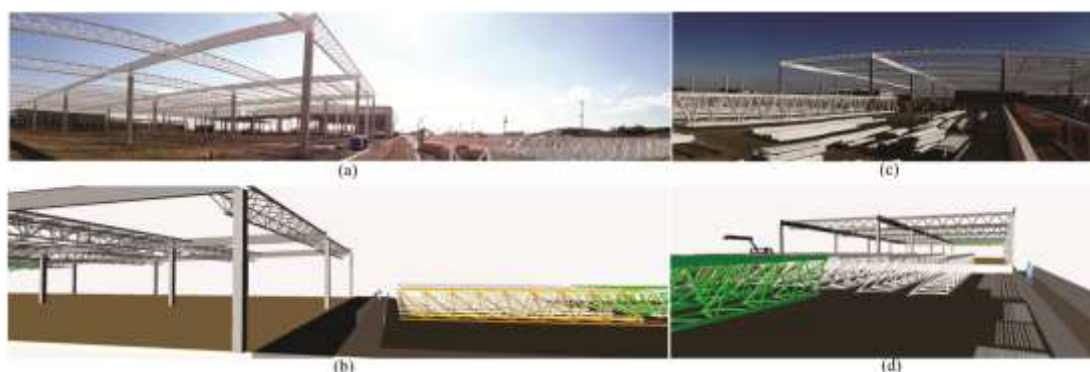
*iii. Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling.*

Ainda sobre as aplicações temos a utilização do BIM 4D no planejamento e controle de logística para pré-fabricados sob encomenda, estudo realizado por R. Bortolini et. al. Este trabalho de pesquisa propõe o uso

combinado de princípios de a Filosofia de Produção Enxuta e Modelagem de Informação de Construção (BIM), como um mecanismo para lidar com a complexidade envolvida nesses tipos de projetos. Com base na matriz de interações entre os princípios Lean e Funcionalidades BIM propostas por Sacks et al., um conjunto de funcionalidades foi selecionado como o mais aplicável à gestão de logística do local para sistemas de construção pré-fabricados ETO. E em relação à simulação dos processos da construção, os modelos 4D podem ser gerados em vários níveis de detalhes por conectar atividades programadas em modelos 3D BIM (BORTOLINI et al., 2019; SACKS et al., 2018).

Para exemplificar a pesquisa foi utilizado um estudo de caso numa empresa grande e fabricante de aço no Brasil, com 2000 funcionários, 3 fábricas e 2000 contratos simultâneos, nessa empresa os prazos de entrega e flexibilidade de design são aspectos importantes para esta empresa. Por se tratar de uma empresa grande foram escolhidos 3 projetos dela com diferentes objetivos, e em todos foram necessárias mudanças na logística, planejamento e layout da empresa. A implementação das ferramentas *Lean* com o BIM 4D representou para a empresa oportunidade de melhoria em todas as áreas (BORTOLINI et al., 2019).

Na Figura 20 podemos ver o nível de controle e de logística alto que foi realizado no estudo de caso. Nesse artigo o maior foco foram as tarefas realizadas para controle da logística e planejamento baseado nos princípios *lean*. Concluiu-se que 4D BIM tem desempenhado um papel importante em termos de melhoria transparência do processo, apoiando a colaboração no planejamento e reuniões de controle. No estudo de caso foi demonstrado evidências empíricas sobre como a combinação dos princípios Lean e funcionalidades BIM ajudaram a alinhar objetivos de diferentes partes interessadas em um projeto de construção como por exemplo controlando o custo do frete (departamento de logística), aumentando o confiabilidade na entrega de componentes (gerenciamento do local), aumentando produtividade da montagem do site (subcontratados), mantendo os estoques organizados no local e reduzindo o tempo de entrega (cliente) (BORTOLINI et al., 2019).



**Figura 20 - Comparação modelo virtual com imagem real do projeto**

Fonte: BORTOLINI et al., 2019

Este trabalho de pesquisa também apontou a importância do planejamento dos detalhes de cargas de transporte ao enviar componentes pré-fabricados para canteiros de obras. A sequência e o conteúdo das cargas de transporte precisam ser baseados em uma versão atualizada do plano de montagem, que é definido no nível de planejamento. Além disso, uma série de requisitos precisam ser considerados no projeto de cargas de transporte, como evitar danos aos componentes durante o transporte, e definir uma sequência de descarga que facilite a organização dos estoques no canteiro de obras (BORTOLINI et al., 2019).

#### 2.3.4 BIM 4D

A definição para o projeto BIM ser 4D, é a utilização do tempo, cronograma ao projeto, fornecendo informações que facilitam para planejar e identificar possíveis problemas no futuro controle da obra. Também ocorre a melhoria na comunicação, e gerenciamento durante o avanço físico da construção (EASTMAN et al., 2011).

Um obstáculo enfrentado pela indústria da construção é a dificuldade em visualizar corretamente o planejamento da obra no espaço, o que gera cronogramas de interpretação abstrata para os usuários devido à grande quantidade de informações em atividades e precedências. Modelos 4D conectam diversos aspectos espaciais e temporais do projeto, algo que melhora a confiabilidade dos cronogramas e minimiza problemas de comunicação (KOO; FISCHER, 2000; HARTMANN; GAO; FISCHER, 2008).

Um exemplo foi Biotto, Formoso e Isatto (2012) que utilizaram modelos 4D para atividades de planejamento e controle, e relataram que os principais benefícios são a visualização de erros de sequenciamento, conflitos entre equipamentos e restrições físicas do canteiro, o apoio na conformação dos fluxos de trabalho e a definição logística de equipamentos, demonstrando a capacidade das informações contidas nos modelos 4D para apoiar a tomada de decisões gerenciais.

Em um artigo sobre a utilização de modelos BIM 4D, Brito e Ferreira (2015) identificaram algumas potencialidades desse modelo a partir de uma revisão literária e observação de pesquisadores e engenheiros, assim a importância e aplicabilidade dessas potencialidades variam dependendo do projeto executado, sendo as seguintes:

- Redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento;
- Identificação de possíveis conflitos e interferências de espaço e tempo durante a construção;
- Inserção de equipamentos, elementos de canteiro e recursos para análises do planejamento;

- Apoio no sequenciamento e na conformação ideal do ritmo de trabalho do cronograma;
- Transmissão de possíveis impactos causados por mudanças no planejamento; e
- Integração e comunicação entre todos os envolvidos no projeto.

Britto e Ferreira (2015) ainda concluíram que a integração e comunicação entre os envolvidos no projeto e a redução do esforço na visualização e interpretação mental do planejamento estão entre os maiores potenciais da utilização dos modelos BIM 4D, demonstrando seu poder de integração e visualização, o que pode facilitar a compatibilização dos níveis de planejamento, e o desenvolvimento de estratégias para produção adaptadas às particularidades do setor.

### 3 Metodologia de investigação

#### 3.1 Contexto da metodologia de investigação seguida

Segundo Fellow e Liu (2015) esta pesquisa pode ser classificada como pesquisa aplicada pois não criará nenhuma teoria para a construção civil, e sim aplicará os conceitos da construção enxuta. Também é classificada como uma pesquisa de problemas complexos, pois são várias as soluções que poderão ser encontradas para solucionar os problemas identificados na obra (FELLOW; LIU, 2015).

É uma pesquisa de carácter quantitativa e também qualitativa. Quantitativa pois será verificada a melhora nos índices de geração de resíduos, produtividade, entre outros, conforme o princípio aplicado. E a mensuração destas melhorias caracteriza a parte quantitativa (FELLOW; LIU, 2015).

Será qualitativa pois a deficiência em alguns processos convencionais será avaliada por meio de um questionário desenvolvido por Kurek (2005), cujas respostas serão “Sim”, “Não” ou “Não se aplica” para algumas atividades no canteiro de obras analisado. Esse questionário foi criado com o objetivo de diagnosticar a implantação dos princípios da construção enxuta, sendo baseado nos onze princípios propostos por Koskella (1992), onde para cada princípio foram elaboradas perguntas envolvendo práticas, atitudes e comportamentos que demonstram a aplicação da filosofia da construção enxuta (FELLOW; LIU, 2015; KUREK, 2005; KOSKELLA, 1992).

Os princípios da construção enxuta de Koskella (1992) são onze e o questionário, disposto no ANEXO 1, possibilita uma análise individual das atividades, e em geral na obra.

O tipo de pesquisa também pode ser considerado como descritivo, segundo Fellow e Liu (2015), pois as etapas de construção serão identificadas e registradas com o objetivo de serem analisados os seus potenciais de alteração conforme os princípios da construção enxuta (FELLOW; LIU, 2015).

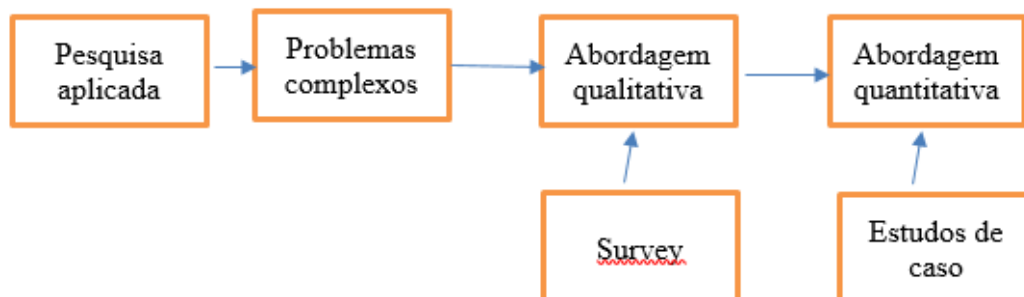
Em algumas ações a pesquisa também será do tipo exploratória, pois será verificado como um princípio específico da construção enxuta melhorou um determinado processo, assim como será explanatória caso em algum evento específico não haja melhora com a utilização de um determinado princípio enxuto (FELLOW; LIU, 2015).

Quanto ao estilo da pesquisa, ela será dos tipos *survey* e estudo de caso. Será aplicado o questionário desenvolvido por Kurek (2005) em uma amostra de atividades identificadas no canteiro de obras para que, após a definição de quais atividades serão tratadas, sejam aplicados diferentes estudos de caso (FELLOW; LIU, 2015).

Os estudos de caso operam como uma generalização teórica, como o procedimento experimental, ao invés de uma generalização empírica identificada no processo de *survey*, de modo que os resultados encontrados

podem ser representativos e serem aplicados à população dos casos com um determinado grau de confiança (FELLOWS; LIU, 2015).

O fluxograma da Figura 21 descreve a metodologia desta pesquisa, conforme as definições dadas por Fellows e Liu.



**Figura 21 - Fluxograma da metodologia**

Fonte: Autoria própria (2021)

### 3.2 Estudo de caso

Este estudo de caso aborda o estudo do projecto e do cronograma de obra, bem como as condicionantes existentes na aplicação do mesmo. Assim, este estudo contempla uma metodologia para resolver problemáticas encontradas em obras a partir da aplicação dos princípios da lean, a qual será desenvolvida com uma ordem para utilização das ferramentas (diagnóstico, questionário, BIM 4D), e será utilizada nesse estudo buscando demonstrar de maneira clara os resultados da sua aplicação, e assim podendo ser replicada para outros casos.

#### 3.2.1 Descrição do projeto

O estudo de caso envolve a optimização de um cronograma de obra, de forma que a betonagem de uma laje em período de inverno exposta a baixas temperaturas, possa ser executada num período mais quente. Para tal utilizou-se o projeto real da estrutura do tipo metálica no Seminário Maior de São José, em Bragança, norte de Portugal. A obra é uma reabilitação da estrutura principal da ala central do seminário, inicialmente construída em madeira, tendo a reforma por objetivo retirar a estrutura antiga e instalar uma nova. A nova estrutura foi projetada para melhorar a segurança em relação a estrutura antiga do prédio, que era muito antiga, mas sem perder sua essência, como por exemplo sua arquitetura externa, que seria toda preservada, como mostra a Figura 22, além disso, ganhando novos espaços como um auditório na parte subterrânea.



**Figura 22 - Fachada externa do Seminário**

Fonte: Autoria própria (2021)

Após análises de projetos para seleção do melhor método construtivo estrutural para realização da reforma, foi escolhido realizar a reabilitação em estrutura metálica, decisão tomada levando em consideração aspectos como dificuldade da execução, tempo e custo do projeto. A Figura 23 mostra o interior do piso 1.

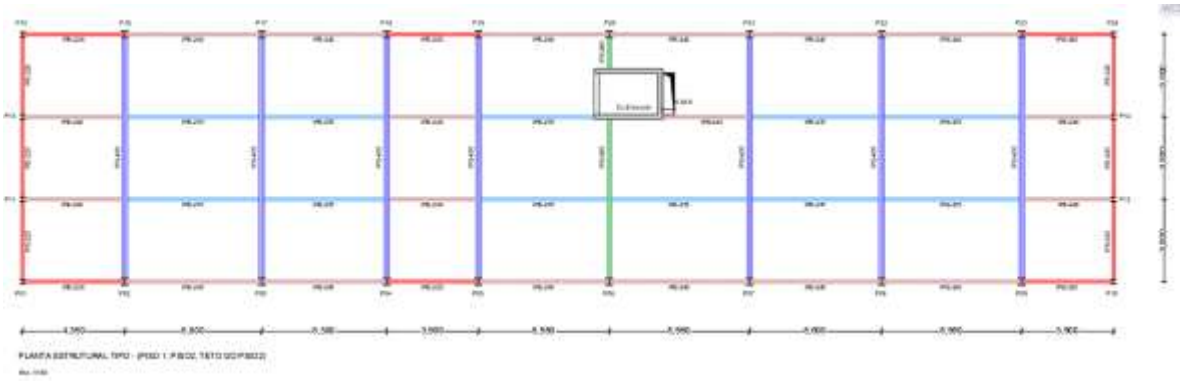


**Figura 23 - Interior do piso 1 do Seminário**  
Fonte: Autoria própria (2021)

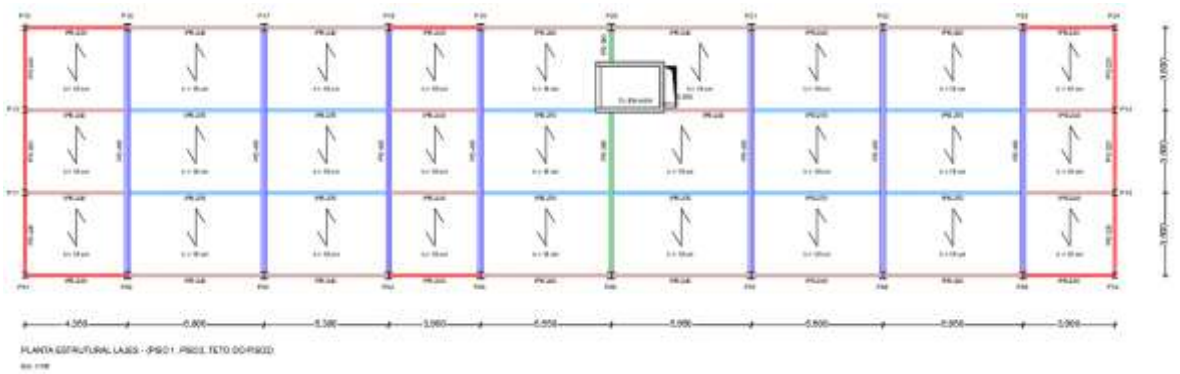
A obra é constituída por 4 pavimentos, sendo o rés do chão, piso 1, piso 2 e teto do piso 2 (aproveitamento de cobertura) como mostra a Figura 24. A estrutura metálica e de lajes do piso 1, piso 2 e teto do piso 2 são idênticas como descritas em projeto e mostradas na Figura 25 e Figura 26. Já as estruturas do rés do chão são diferentes, tanto a parte metálica quanto a laje, possíveis de serem verificadas na Figura 27 e Figura 28.



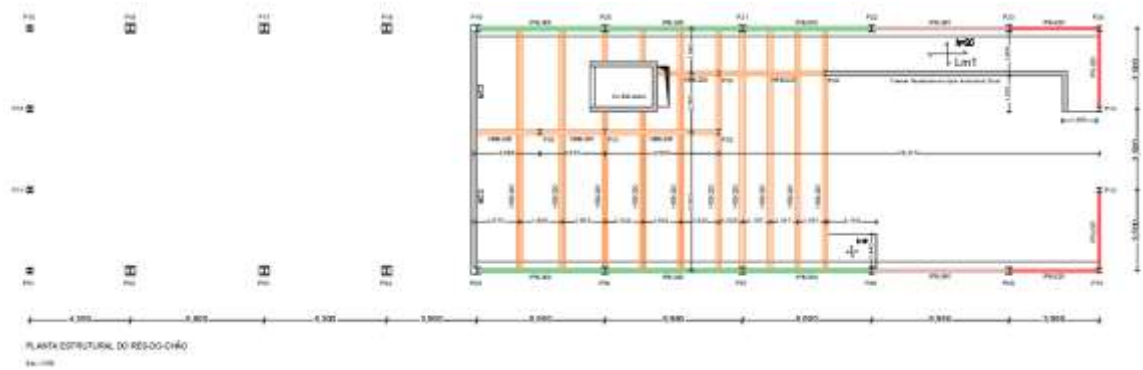
**Figura 24 - Estrutura vertical do Seminário**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra



**Figura 25 - Planta estrutural tipo (piso 1, piso 2, teto do piso2)**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra



**Figura 26 - Planta estrutural lajes (piso 1, piso 2, teto do piso2)**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra

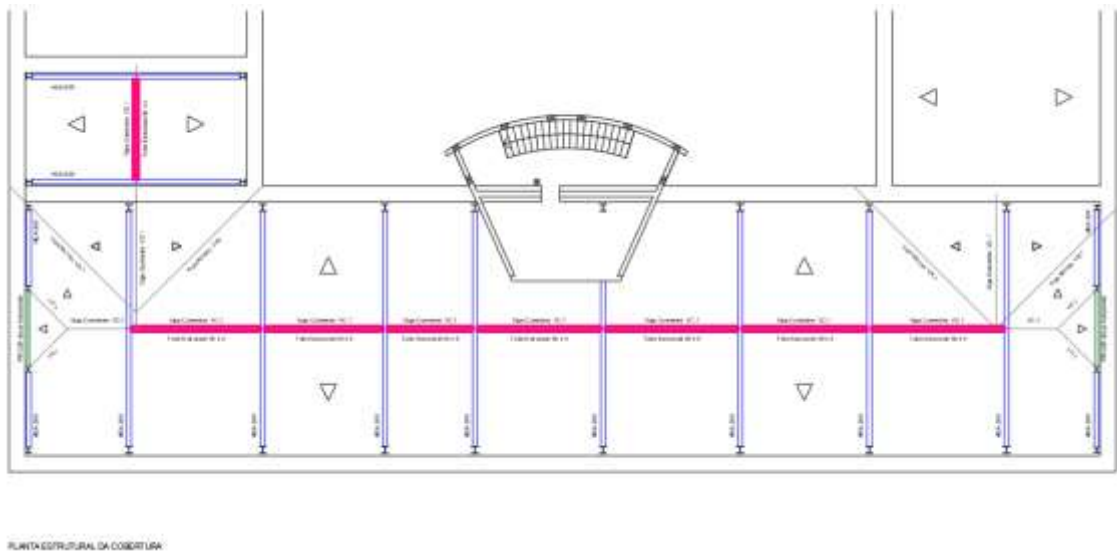


**Figura 27 - Planta estrutural do rés do chão**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra



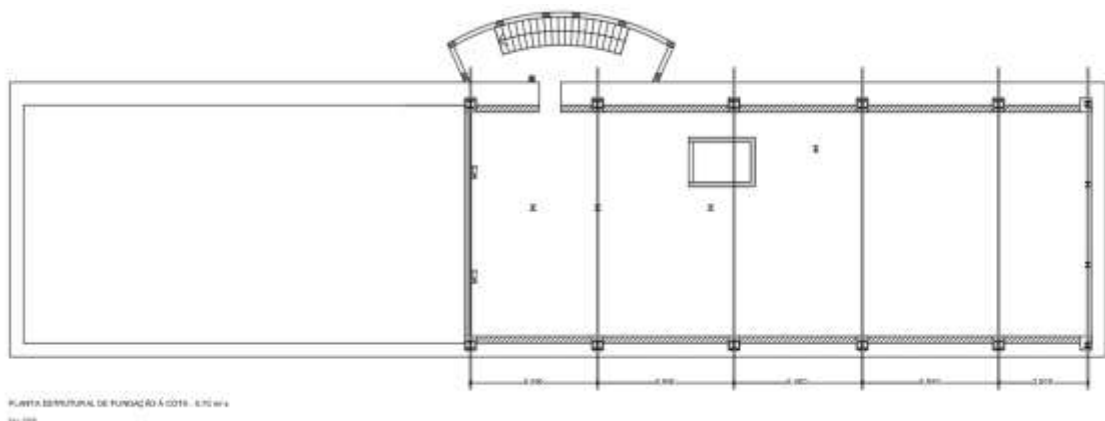
**Figura 28 - Planta estrutural laje do rés do chão**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra

Já na cobertura a planta estrutural mostra que foi feita uma estrutura em betão armado como é possível ver na Figura 29.



**Figura 29 - Planta estrutural da cobertura**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra

Além disso, foi realizada uma escada na parte de fora da estrutura que serviu para transporte de materiais durante obra, a posição dela em obra pode ser observada na Figura 30.



**Figura 30 - Planta para observar posicionamento da escada**  
 Fonte: Projeto estrutural DWG cedido pela Fiscalização da obra

### 3.2.2 Problemática e enquadramento com a *lean construction*

Inicialmente o estudo de caso seria feito para avaliar as possíveis alterações no cronograma da obra, utilizando a aplicação de conceitos *lean* nos processos da execução da reforma. O objetivo era a partir da aplicação desses conceitos analisar a possibilidade de antecipação da betonagem, que foi realizada em dias de inverno mais rigorosos, para data com dias mais quentes, pois quando feita em dias muito frios, a resistência do betão é afetada negativamente em função da cura, como visto em nossa revisão de literatura.

Com o objetivo traçado, por meio do estudo do projeto, e do cronograma em que a obra foi realizada, verificou-se que uma possível solução seria antecipar a betonagem para um período do ano em que o clima fosse mais ameno e sem ocorrência de geadas (no caso metade de dezembro), sendo assim, o estudo foi desenvolvido em relação a essa mudança do cronograma, tendo em vista não alterar o prazo final de entrega da obra e a utilização dos conceitos *lean* para embasar as alterações.

### 3.2.3 Dados recolhidos e sua aplicação

Os dados recolhidos para realização do estudo foram o projeto estrutural do seminário em formato DWG, o cronograma da obra repassado em formato word, fotos realizadas em obra e um questionário de verificação de aplicação da *lean construction*.

Com o projeto estrutural em DWG, foi possível analisar completamente como foi realizada a estrutura metálica no edifício. Além disso, todas as medidas, detalhes sobre os perfis metálicos e áreas dos pavimentos estavam disponíveis para análise.

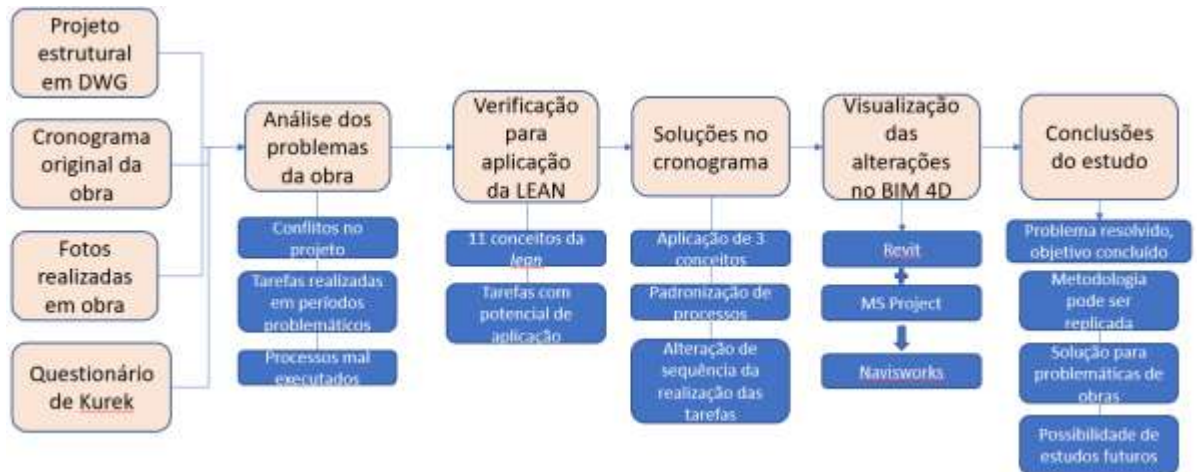
O cronograma da obra disponibilizado, continha informações como data da realização dos processos, quantidade de funcionários utilizados por tarefa, dias de férias, dias parados por problemas na entrega de produtos e todos os processos realizado desde a fundação até a limpeza final da obra. Todas essas informações permitiram uma análise completa do cronograma e onde ele poderia ser modificado com a utilização dos conceitos da *lean construction*. Esse cronograma recebido foi repassado para o software *Microsoft Project (MS Project)* para uma melhor visualização e análise temporal.

Com as fotos realizadas em uma visita técnica com o acompanhamento do fiscal da obra, foi possível ter uma visualização melhor da reforma em geral, como sua dimensão e quais processos influenciariam uns aos outros para possibilitar mudanças no cronograma. As fotos foram realizadas em um período em que a obra ainda estava em andamento, na fase de colocação das armaduras na cobertura, o que possibilitou um melhor entendimento de como estava sendo realizada.

O questionário proposto por Juliana Kurek em seu estudo realizado em uma construtora em Passo Fundo – RS, é utilizado para verificar quais os conceitos da *lean construction* podem ser aplicados na obra. Ele foi preenchido para essa obra em acordo com o fiscal da obra, que respondeu em concordância com o que foi pedido, repassando as informações que ele tinha sobre a execução da reforma em geral. Com o questionário preenchido existe possibilidade de escolher quais os conceitos serão aplicados em determinada obra.

O fluxograma da Figura 31 mostra como foram usados os dados no estudo para chegar ao objetivo, e assim ser possível a visualização dos resultados no projeto BIM 4D. Com os dados obtidos conseguiu ser realizar a análise de problemas na obra, como por exemplo conflitos no projeto, tarefas realizadas em períodos problemáticos e processos mal executados. Já com o problema encontrado, ocorreu a verificação para aplicação da *lean construction*, seus 11 conceitos e em quais atividades podem ser aplicados. Após a aplicação foi obtido as soluções em um novo cronograma, em qual foi aplicado 3 conceitos para chegar à solução do problema encontrado. Com a utilização do BIM 4D podemos ver com clareza as alterações e como a obra se comportaria em comparação com o cronograma original. Assim foi concluído que o problema

proposto foi resolvido, a metodologia aplicada pode ser replicada em um padrão para solucionar problemáticas em obras, e também foi aberto um caminho para estudos futuros.



**Figura 31 - Fluxograma dos dados**  
 Fonte: Autoria própria (2021)

## 4 Resultados e discussões

### 4.1 Estratégia construída a partir do método aplicado

Com o estudo de caso definido, e os dados coletados foi iniciada a análise para verificação da possibilidade de adequação da reforma para se enquadrar no novo cronograma proposto. Tendo como base a retirada da betonagem dos dias críticos do inverno, sem impacto negativo no prazo da entrega da obra, sendo as alterações baseadas em conceitos *lean* para otimizar a obra e alcançar o resultado previsto. A betonagem quando realizada em tempo de temperaturas muito baixas influencia negativamente na resistência do betão como foi descrito nos trabalhos da revisão de literatura.

#### 4.1.1 Diagnóstico das tarefas pelo cronograma

Inicialmente foi repassado o cronograma realizado na obra para o MS Project, contendo as datas, prazos, férias, atrasos e quantidade de mão de obra. Com as tarefas no MS Project, disponível em no anexo 3, foi possível verificar quais eram suas predecessoras (tarefas que necessitam ser realizadas antes) e quais seriam potenciais objetos de estudo.

As atividades que foram escolhidas para verificar a possibilidade de mudança e que influenciavam diretamente nos prazos de betonagem foram:

- Execução da laje maciça piso rés do chão na zona de auditório
- Colocação de pilares metálicos
- Colocação de chapas colaborantes e armadura dos pisos (piso 1, 2 e aproveitamento da cobertura)
- Betonagem das lajes (piso 1 e 2)
- Montagem das vigas metálicas dos pisos (piso 1, 2, aproveitamento da cobertura e cobertura)
- Betonagem aproveitamento de cobertura (tarefa a ser retirada do inverno)
- Betonagem da caixa de elevadores
- Colocação vigotas para lajes de cobertura
- Colocação armaduras, reforços e realização da abertura para vãos na cobertura
- Betonagem laje de cobertura

Além dessas, foram selecionadas tarefas que não eram predecessoras da atividade em que esse estudo estava focado (betonagem do aproveitamento de cobertura) mas poderiam ser objetos de estudo para auxiliar na alteração necessária:

- Execução da laje inclinada para cadeiras de auditório
- Execução de escadas da cave para o rés do chão e laje
- Execução de escadas (1º piso, 2º piso)
- Paredes envolventes caixas de escadas (rés do chão, laje, 1º piso, 2º piso)

#### 4.1.2 Preenchimento do questionário

Já com as tarefas separadas, foi realizado o preenchimento do questionário proposto por Juliana Kurek em seu estudo (anexo 1), a função dele é mapear a obra em relação a quais conceitos *lean* já são aplicados nela, e quais são possíveis de serem aplicados, como um diagnóstico da construção enxuta na obra. O preenchimento foi realizado em conjunto com o fiscal da obra, que respondeu a todas as perguntas sobre os conceitos que a ela se aplicavam.

O questionário faz o estudo dos 11 conceitos da construção enxuta. Após o preenchimento foram separados os seguintes conceitos para estudar sua aplicação nos processos da obra e assim conseguir a alteração desejada no cronograma (KUREK, 2005):

- Reduzir a parcela de atividades que não agregam valor
- Reduzir variabilidade
- Reduzir o tempo do ciclo de produção
- Simplificar através da redução de número de passos ou partes
- Focar o controle no processo global
- Introduzir melhoria contínua no processo
- Manter um equilíbrio entre melhoria nos fluxos e nas conversões

#### 4.1.3 Enquadramento dos conceitos *lean* para as atividades

Com as atividades da obra escolhidas e os possíveis conceitos *lean* para aplicação, foi estudado quais se enquadrariam para cada atividade, e como isso faria com que fosse possível ganhar dias no cronograma para ocorrer a antecipação da betonagem do aproveitamento da cobertura ainda em dezembro, antes das férias de fim de ano, assim retirando a atividade dos dias de inverno mais rigorosos.

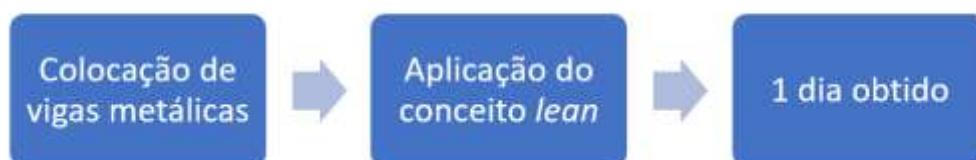
Primeiramente, foi identificado a possível aplicação de 2 conceitos *lean* em conjunto para algumas atividades, o conceito de “reduzir a variabilidade”, e “reduzir o tempo do ciclo de produção”. A redução da variabilidade trata da padronização de procedimentos de execução de tarefas e recebimento de materiais, o que não acontece nessa obra como verificado no preenchimento do questionário, já para redução do tempo do ciclo de produção, uma das alternativas é a contagem do tempo requerido para atividades com mesma quantidade de processos e tamanho, no objetivo de mostrar como é possível realizar a atividade em um prazo menor se feita corretamente.

As atividades identificadas para aplicação desses conceitos foram:

- Colocação de vigas metálicas (1º piso, 2º piso e aproveitamento de cobertura)
- Colocação de chapas colaborantes e armadura (1º piso, 2º piso e aproveitamento de cobertura)

Essas 2 atividades foram escolhidas para aplicação pois são realizadas em uma área igual, tem a mesma quantidade de processos, e mesma quantidade de mão de obra nos 3 pisos que são executadas. Assim realizando a padronização dos processos e a contagem do tempo requerido para execução é possível ganhar dias de trabalho dentro do cronograma.

Em projeto e juntamente com o cronograma de obra foi verificado que a colocação das vigas metálicas dos pisos 1, 2 e aproveitamento de cobertura ocorrem em uma região com área idêntica, e com a mesma quantidade de mão de obra, o que significa que pode-se aplicar os conceitos *lean* para economizar dias no cronograma. Nesse caso a colocação de vigas metálicas realizadas no piso 2 e no aproveitamento de cobertura teve um prazo de 3 dias, já quando realizada no piso 1, teve a duração de 4 dias. De acordo como o conceito da construção enxuta de redução do ciclo de produção, se a tarefa executada no piso 1 tivesse sido realizada como nos outros pisos, onde ocorreu a padronização da execução, teria a duração de 3 dias também, obtendo 1 dia para realocação da obra no cronograma. Como mostra a Figura 32.



**Figura 32 - Fluxograma aplicação 1**

Fonte: Autoria própria (2021)

Verificando a atividade da colocação de chapas colaborantes e armadura da mesma forma que a colocação das vigas metálicas, também é possível aplicar os mesmos conceitos *lean*. Portanto, como a colocação de chapas colaborantes e armadura foi realizada em 7 dias no piso 1, 12 dias no piso 2 e 9 dias no aproveitamento de cobertura, conclui-se que se ocorrer a padronização da execução da atividade nos diferentes pisos em comparação com a duração no piso 1, são obtidos mais 7 dias para realocação da obra no cronograma (5 dias no piso 2 e 2 dias no aproveitamento de cobertura). Demonstrado na Figura 33



**Figura 33 - Fluxograma da aplicação 2**

Fonte: Autoria própria (2021)

Com a aplicação desses 2 conceitos *lean*, foram obtidos 8 dias para alteração do cronograma da obra em busca do objetivo de antecipar a betonagem.

Buscando conseguir mais dias dentro do cronograma, foi identificado a possível aplicação de mais um conceito *lean*, o “focar o controle no processo global” que aborda o planejamento das atividades de curto, médio e longo prazo, sem adiantar as tarefas desnecessárias, sendo assim possível transferir as atividades dentro do cronograma.

A atividade identificada para aplicação desse conceito foi a execução das paredes envoltentes da caixa de escadas, pois essa tarefa não é uma predecessora da betonagem do aproveitamento de cobertura, ou seja, não necessita ser executada anteriormente a betonagem, se tratando de uma atividade que não está relacionada diretamente com a tarefa principal do estudo, o que possibilita que seja realocada dentro do cronograma de maneira que não afete o prazo final da obra. Porém essa atividade foi realizada em 3 momentos distintos da obra (antes da betonagem do aproveitamento da cobertura), do rés do chão ao 1º piso (dividida em 2 datas e com quantidade de mão de obra diferente), e do 1º piso ao 2º piso.

Das 3 partes em que foi descrita a atividade, apenas a primeira afeta diretamente o cronograma em relação ao prazo, pois foi realizada de maneira individual com a mão de obra disponível somente a ela, com duração de 4 dias, o que interferiu no início da atividade seguinte (a execução da caixa de elevadores do piso rés do chão para 1º piso). Portanto com a realocação dessas atividades para janeiro, data em que foi realizado a betonagem nos dias críticos, ocorreu um ganho de mais 4 dias no cronograma, como mostra a Figura 34, para possibilitar o adiantamento da betonagem.



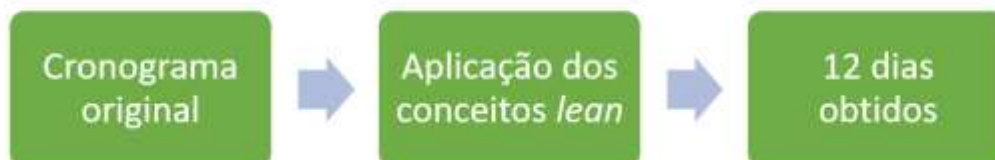
**Figura 34 - Fluxograma da aplicação 3**

Fonte: Autoria própria (2021)

Além disso, para um ganho de mais 1 dia de obra, e uma melhora na alocação da execução das paredes envolventes da caixa de escadas em janeiro, ainda foi possível abordar essa atividade da mesma forma que as atividades em que foram aplicadas o conceito anterior, pois as duas tarefas que foram realizadas com a mesma quantidade de mão de obra, podem ser realizadas no mesmo prazo de 5 dias (não em 6 dias, como uma delas foi executada), levando em consideração que são executadas com a mesma quantidade de processos e área de construção.

#### 4.1.4 Atualização do cronograma e novas datas

Após a identificação de quantos dias de obra foram ganhos com a aplicação dos conceitos da construção enxuta nas tarefas, foi realizado a atualização do cronograma da obra, corrigindo as datas e realocando as atividades propostas, levando em consideração os fatores que influenciam e não foram alterados como feriados, férias e dias de atraso de entrega de materiais. O cronograma alterado está disponível no anexo 4. Assim foi possível verificar que eram necessários pelo menos 10 dias úteis de antecedência para que o objetivo de antecipar a betonagem para dezembro fosse alcançado, e com a aplicação dos conceitos foram ganhos 12 dias úteis de obra (8 com a aplicação dos 2 primeiros conceitos, e mais 4 com a aplicação do terceiro), esse resultado é demonstrado no fluxograma da Figura 35.



**Figura 35 - Fluxograma do resultado das aplicações**

Fonte: Autoria própria (2021)

Com isso é possível ver que com a aplicação dos conceitos da construção enxuta nos processos de execução é possível alterar o cronograma de obras para que não seja necessário trabalhar com esse tipo de patologia e outras que possam ser identificadas previamente. A seguir será detalhada a mudança de datas e realocação das atividades no cronograma que resultaram na antecipação da betonagem para dezembro.

## 4.2 Cronograma

Como já abordado anteriormente o cronograma original da obra foi fornecido em formato word, contendo as atividades, datas e quantidade de mão de obra para cada tarefa, tratando-se do cronograma real que decorreu na obra. Assim foi possível repassar para o software MS Project, com o objetivo de melhorar a visualização dos prazos e com a ajuda das predecessoras, realizar o estudo de possíveis alterações na ordem e datas das tarefas executadas.

O cronograma original mostra que a obra foi iniciada dia 30 de janeiro de 2020, e foi finalizada no dia 09 de julho de 2021. O estudo realizado não afetou o prazo inicial, nem final da obra, já que o objetivo era retirar a betonagem dos dias críticos do inverno.

A atividade inicial foi a montagem do estaleiro, vedações e da grua torre, assim seguiu sem alterações de datas e sequência das atividades até a montagem das vigas metálicas do piso 1, a qual foi aplicada os conceitos *lean* “reduzir a variabilidade” e “reduzir o tempo de ciclo de produção” para ganho de 1 dia útil de obra, deixando de ser executada em 4 dias para ser executada em 3 dias, como mostram o Quadro 3 e Quadro 4.

**Quadro 3 - Colocação das vigas metálicas piso 1 (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Colocação vigas metálicas piso 1	4 dias	Sex 25/09/20	Qua 30/09/20

**Quadro 4 - Colocação das vigas metálicas piso 1 (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Colocação vigas metálicas piso 1	3 dias	Sex 25/09/20	Ter 29/09/20

Após essa alteração, e considerando que ocorreu uma parada por problema com entrega de materiais, foi possível antecipar a atividade seguinte, a execução da laje inclinada para cadeiras do auditório, o que causou ainda mais benefício para a obra, pois no cronograma original ela foi realizada de

sexta-feira a terça-feira, ocorrendo uma pausa de trabalho no fim de semana (pois quando é utilizado o betão industrializado pode ocorrer um problema de logística na entrega do material, sendo que deve ser todo aplicado, sem possibilidade de estocar), mas com a alteração foi possível realocar para ocorrer de quarta-feira à sexta-feira, como mostra o Quadro 5 e Quadro 6.

**Quadro 5 - Execução da laje inclinada para cadeiras do auditório (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Execução da laje inclinada para cadeiras de auditório	3 dias	Sex 09/10/20	Ter 13/10/20

**Quadro 6 - Execução da laje inclinada para cadeiras do auditório (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Execução da laje inclinada para cadeiras de auditório	3 dias	Sex 09/10/20	Ter 13/10/20

O cronograma após essas mudanças foi seguido apenas antecipando as atividades de acordo com as datas disponíveis, até a segunda atividade em que foi aplicado o conceito “focar o controle no processo global”, a execução das paredes envolventes da caixa de escada do piso rés do chão para 1º piso, que com a aplicação do conceito, foi possível ser realocada para janeiro, logo após a volta das férias de fim de ano, data em que estaria livre com a antecipação da betonagem para dezembro. É possível ver a alteração das datas no Quadro 7 e Quadro 8, ocorrendo um ganho de 4 dias no cronograma.

**Quadro 7 - Execução das paredes envolventes 1 (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envolventes caixa de escadas do piso rés do chão para 1º piso	4 dias	Ter 27/10/20	Sex 30/10/20

**Quadro 8 - Execução das paredes envolventes 1 (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envolventes caixa de escadas do piso rés do chão para 1º piso	4 dias	Seg 04/01/21	Qui 07/01/21

Em seguida à essa alteração, foi apenas seguido o cronograma atualizando as datas das seguintes atividades, até a segunda atividade de paredes envolventes, pois mesmo não afetando diretamente o cronograma, foi transferida para ser feita em janeiro, logo após a conclusão da primeira parte das paredes, período em que estaria livre com o adiantamento da betonagem, além disso é possível ver a alteração da duração da tarefa (de 6 dias para 5 dias) em função da aplicação dos conceitos que comparavam a duração de atividades idênticas. Essas mudanças podem ser vistas no Quadro 9 e Quadro 10.

**Quadro 9 - Execução das paredes envolventes 2 (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envolventes caixa de escadas 2	6 dias	Qua 18/11/20	Qua 25/11/20

**Quadro 10 - Execução das paredes envolventes 2 (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envolventes caixa de escadas 2	5 dias	Seg 11/01/21	Sex 15/01/21

A outra atividade que foi transferida em relação a ordem de execução do cronograma, foi a terceira tarefa de execução das paredes envolventes da caixa de escada, a qual também não influenciava diretamente em relação ao prazo, mas foi adiada para um período que ficaria livre (em janeiro) com o adiantamento da betonagem, a sua duração não foi alterada, apenas a data. A mudança foi possível graças aplicação do mesmo conceito da atividade anterior, e pode ser verificada as diferenças de datas no Quadro 11 e Quadro 12.

**Quadro 11 - Execução das paredes envolventes 3 (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envolventes caixa de escadas 3	5 dias	Seg 14/12/20	Sex 18/12/20

**Quadro 12 - Execução das paredes envoltivas 3 (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Paredes envoltivas caixa de escadas 3	5 dias	Seg 18/01/21	Sex 22/01/21

Posteriormente, foi seguido as atualizações das datas das atividades, até a atualização da duração da colocação de chapas colaborantes e armaduras do piso 2 e aproveitamento de cobertura. Essas 2 tarefas tiveram suas durações alteradas pela aplicação dos 2 conceitos *lean* citados anteriormente, que possibilitam a realização de atividades com características iguais em um mesmo prazo. No caso ao comparar essas duas atividades com a colocação de chapas colaborantes e armaduras do piso 1, foi identificado o ganho de 7 dias uteis no cronograma, pois ambas podem ser realizadas em 7 dias se houver a padronização da execução. A mudança de datas e duração das tarefas podem ser visualizadas no Quadro 13 e Quadro 14 para o piso 1 e no Quadro 15 e Quadro 16 para a atividade realizada no aproveitamento da cobertura.

**Quadro 13 - Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2 (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2	12 dias	Qua 18/11/20	Qui 03/12/20

**Quadro 14 - Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2 (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Colocação chapas colaborantes e armaduras piso 2	7 dias	Qua 11/11/20	Qui 19/11/20

**Quadro 15 - Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>
Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura	9 dias	Seg 04/01/21	Qui 14/01/21

**Quadro 16 - Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Ínicio</b>	<b>Término</b>
Colocação chapas colaborantes e armaduras aproveitamento de cobertura	7 dias	Seg 07/12/20	Ter 15/12/20

Após as atualizações nas datas das demais atividades levando em consideração as alterações de suas durações e realocações no cronograma, foi possível verificar que a betonagem do aproveitamento da cobertura, que foi realizado em janeiro segundo o cronograma original, seria executada em dezembro anteriormente as férias de fim de ano, data em que ainda não foi iniciado o inverno. Essa mudança que é o objetivo principal do estudo pode ser vista no Quadro 17 e Quadro 18.

**Quadro 17 - Betonagem aproveitamento de cobertura (cronograma original)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Ínicio</b>	<b>Término</b>
Betonagem aproveitamento de cobertura	1 dia	Sex 15/01/21	Sex 15/01/21

**Quadro 18 - Betonagem aproveitamento de cobertura (cronograma alterado)**

<b>Nome da tarefa</b>	<b>Duração</b>	<b>Ínicio</b>	<b>Término</b>
Betonagem aproveitamento de cobertura	1 dia	Qua 16/12/20	Qua 16/12/20

O cronograma completo original e o cronograma completo alterado de acordo com o estudo estão disponíveis nos anexo 3 e 4 em folha A1, contendo todos os detalhes fornecidos, como predecessoras, mão de obra utilizada, datas e duração.

#### 4.3 BIM 4D do estudo de caso

Como já descrito na revisão o BIM 4D tem a utilização do tempo, cronograma do projeto, o que fornecendo informações que facilitam para planejar e identificar possíveis problemas no futuro controlo da obra. Também ocorre a melhora na comunicação, e gerenciamento durante o avanço físico da construção. (EASTMAN et al., 2011)

Nesse estudo foi realizado o projeto 4D para melhorar a comparação dos cronogramas da obra, o original (disponibilizado pelo fiscal da obra), e o alterado pelo trabalho base na implementação dos pressupostos da *lean construction*. Além disso o objetivo é demonstrar de forma mais didática os benefícios com a aplicação da *lean*, o decorrer do projeto, sua sequência de execução e seu formato físico.

Para realização do BIM 4D do estudo de caso foram utilizados 3 softwares, sendo eles o MS Project da Microsoft, Revit e Navisworks da Autodesk. Com a união desses 3 foi possível obter o projeto 3D com o cronograma da obra adicionado, tornando-se 4D.

#### 4.3.1 Cronogramas adicionados no MS Project

Como o objetivo era a comparação entre os cronogramas, foram realizados dois projetos, um com o cronograma original, e outro com o cronograma alterado. Com as tarefas de ambos os cronogramas já adicionadas no MS Project, como mostra a Figura 36, foi iniciado a realização do projeto no Revit.

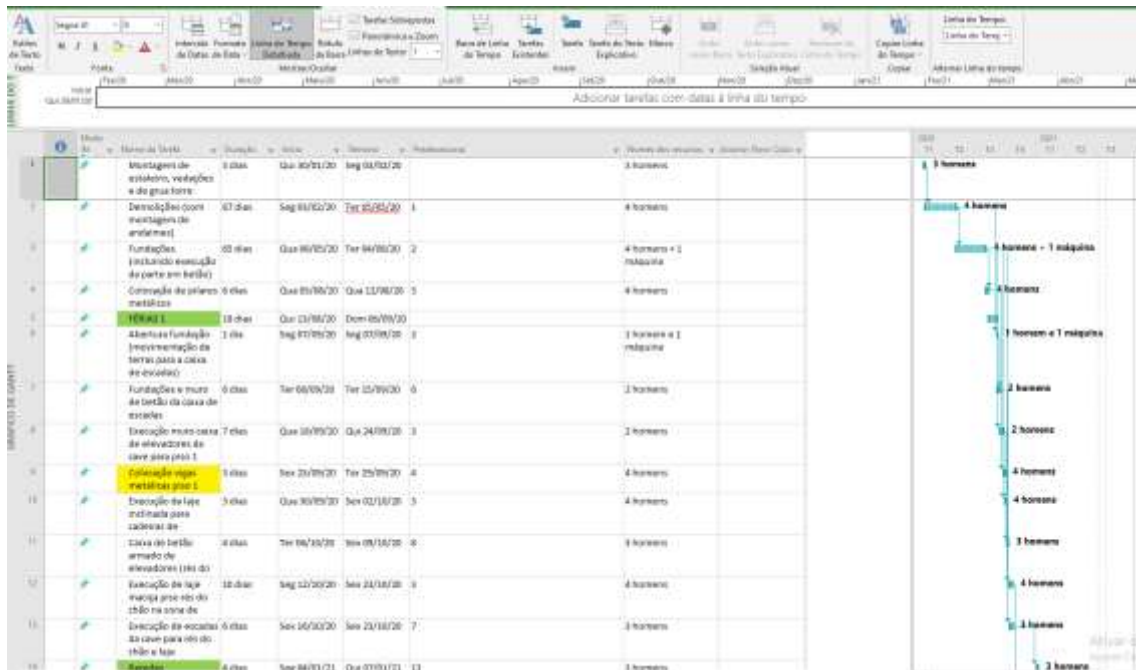
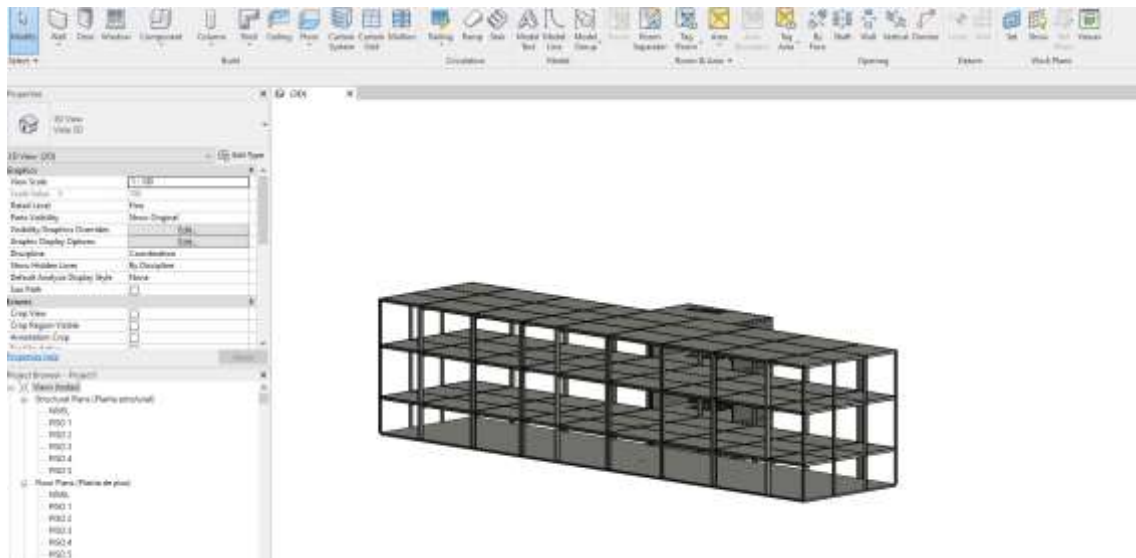


Figura 36 - Software MS Project

#### 4.3.2 Projeto 3D no Revit

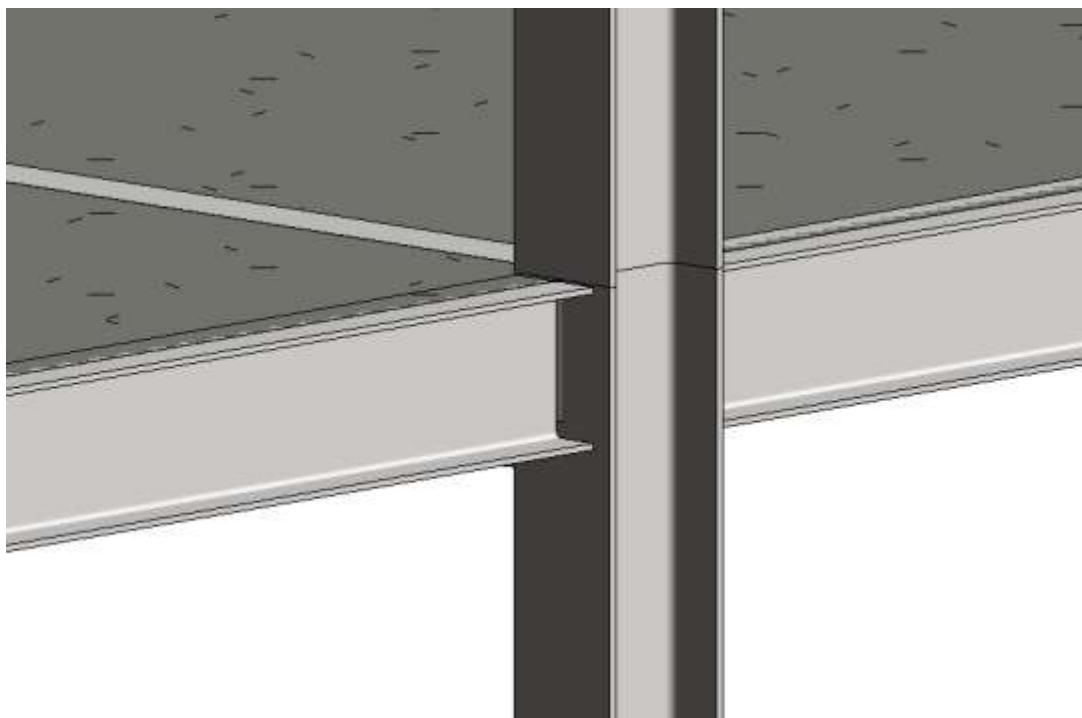
Com o auxílio do projeto estrutural em DWG disponibilizado pela entidade executante da obra, foi possível realizar o projeto 3D no software Revit, demonstrado na Figura 37. Os detalhes, perfis metálicos e dimensões foram seguidos do projeto estrutural. Como o objetivo é visualizar a parte estrutural, que é o foco do estudo, foram desenhadas as estruturas que fazem parte do cronograma. Para o desenho da estrutura foi feito o download da

biblioteca para Revit estrutural da Gerdal (empresa brasileira de aço) que disponibiliza gratuitamente diversos perfis para realização de projetos 3D.

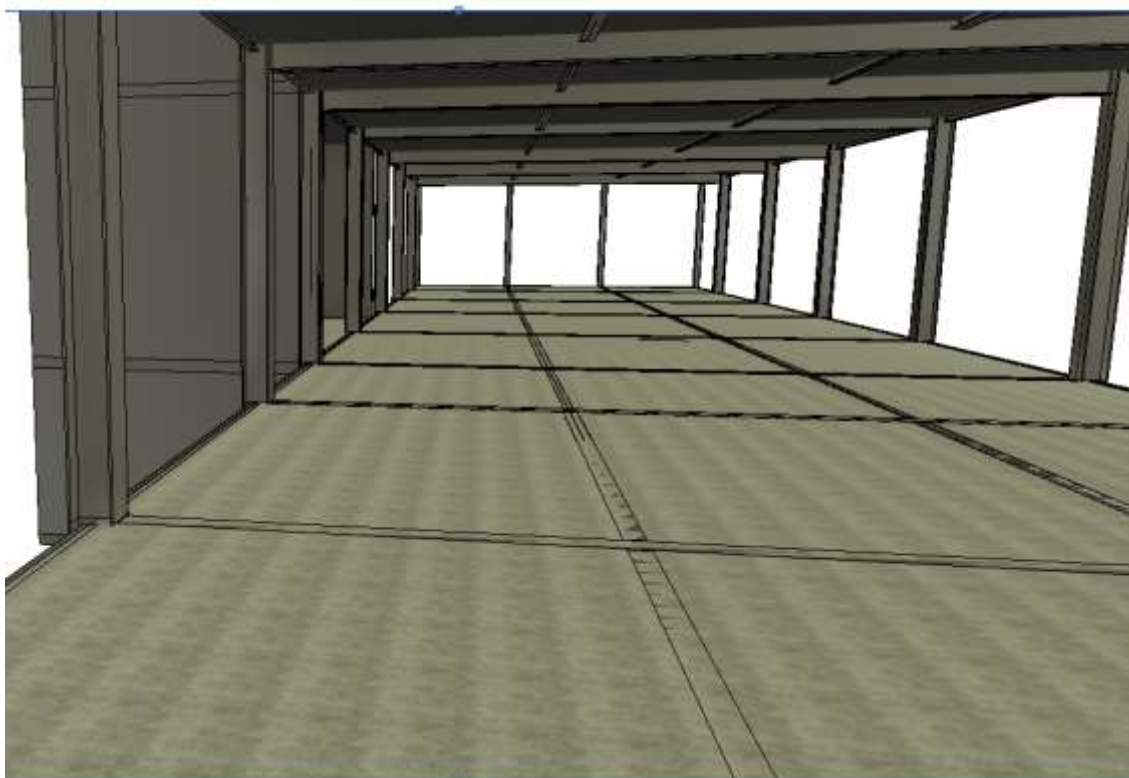


**Figura 37 - Software Revit**

Ainda no Revit, é necessário ressaltar que o projeto foi realizado procurando ser uma representação mais fiel possível da obra, os detalhes e uma vista interna podem ser vistos na Figura 38 e Figura 39.



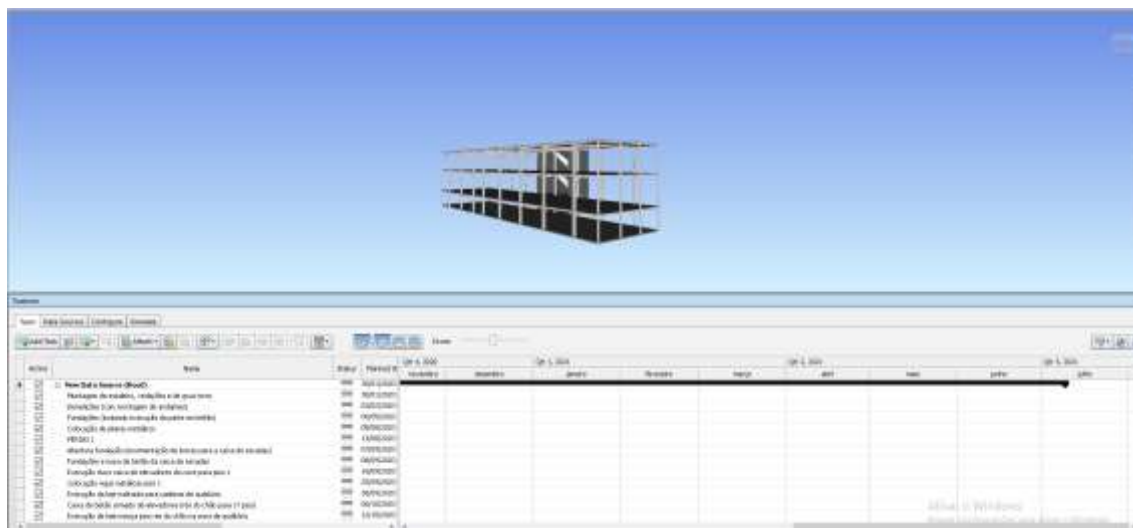
**Figura 38 - Detalhe estrutura metálica**



**Figura 39 - Vista piso 1 do projeto em Revit**

### 4.3.3 Criação do projeto 4D

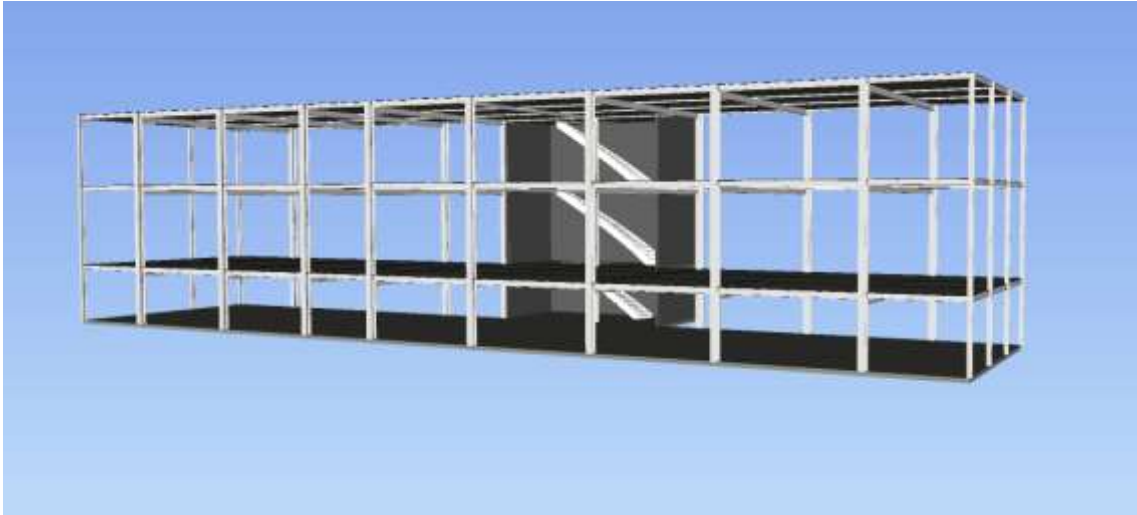
Com os cronogramas e o projeto 3D concluídos, foi iniciada a utilização do software Navisworks. Para abrir o projeto realizado em Revit dentro do Navisworks, foi necessário exportá-lo em formato compatível (IFC). Já os cronogramas podem ser adicionados diretamente. Com os 2 arquivos já inseridos no software, como mostra a Figura 40, é iniciada a sincronização.



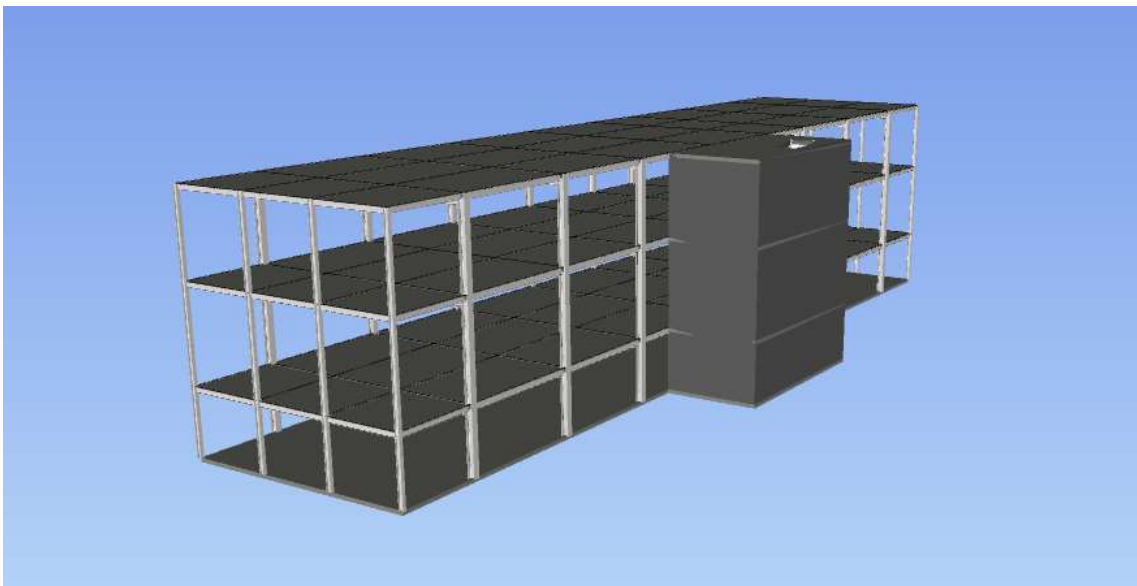
**Figura 40 - Software Navisworks**

Para a sincronização das tarefas do cronograma com a estrutura 3D, foi necessário a seleção de cada tarefa em conjunto com sua estrutura, para o programa interligar os dois e assim conseguir realizar a simulação da construção em função das datas e tarefas.

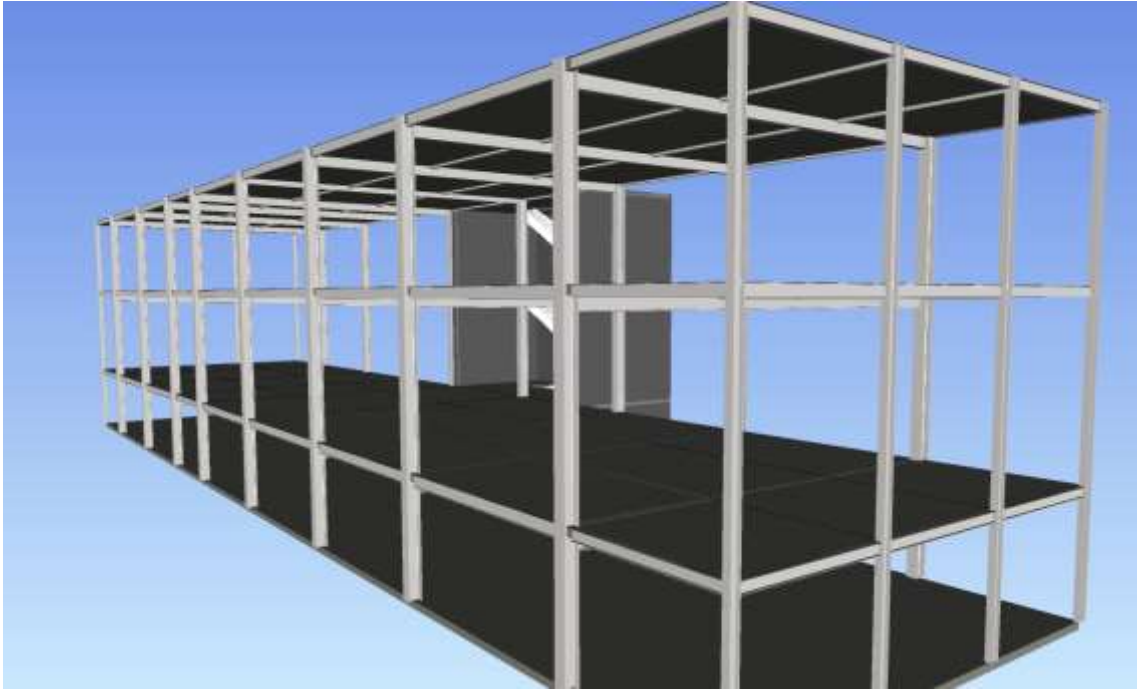
Foram feitos 2 projetos, primeiramente foi realizado com base no cronograma original, e após isso foram seguidos os mesmos passos com base o cronograma alterado, assim sendo possível ver as alterações. A Figura 41, Figura 42 e Figura 43 demonstram algumas vistas do projeto no software.



**Figura 41 - Vista frontal do projeto 4D**

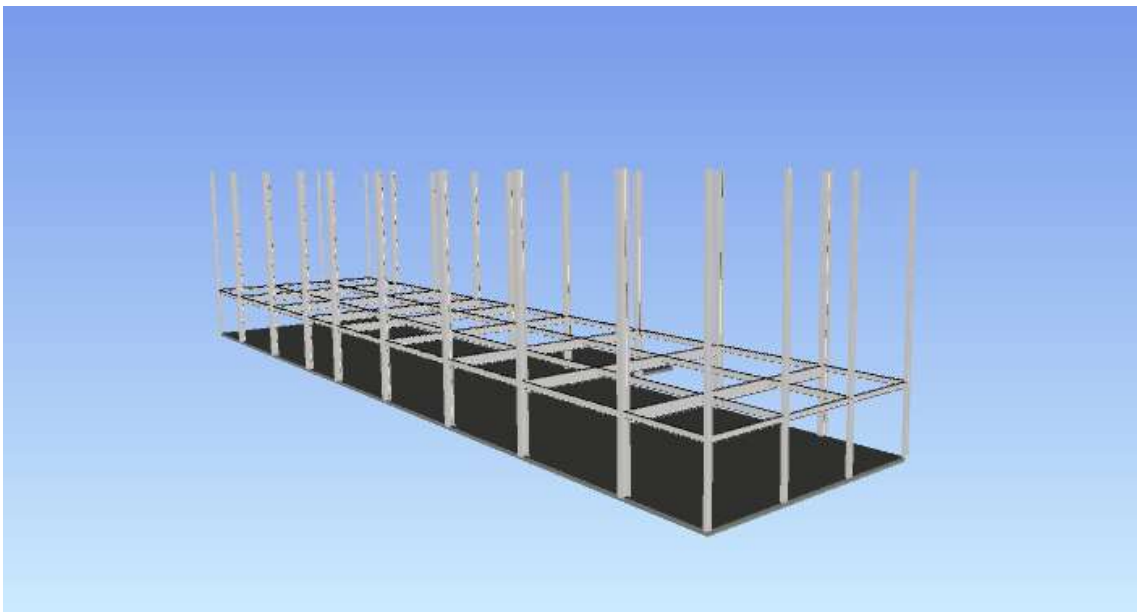


**Figura 42 - Perspectiva de trás do projeto 4D**



**Figura 43 - Perspectiva aproximada do projeto 4D**

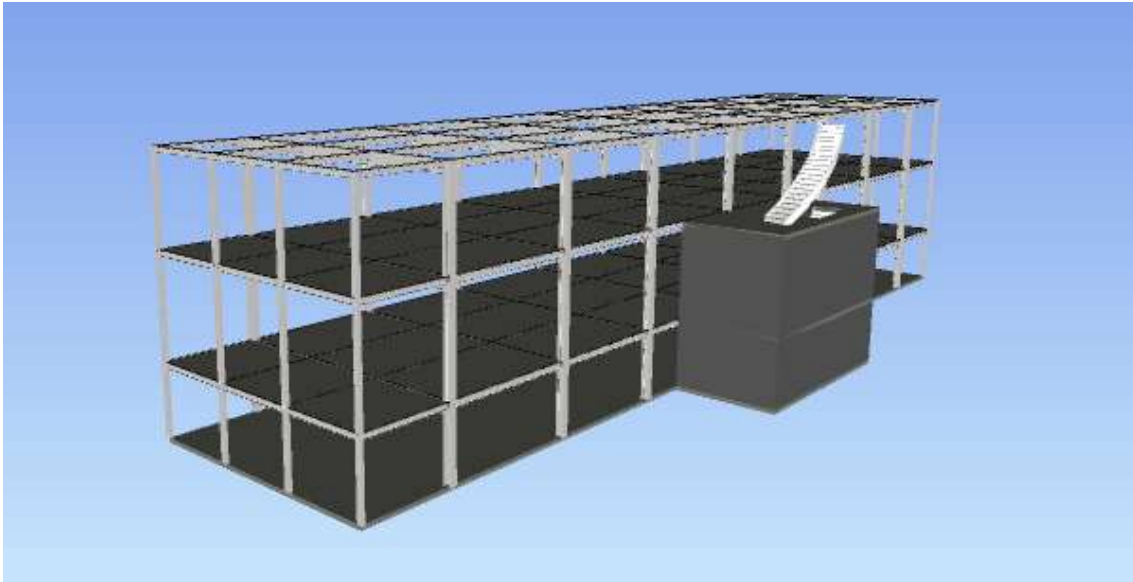
Na simulação é possível ver a sequência de execução da obra, como por exemplo a Figura 44 mostra a simulação em andamento, podemos ver claramente as vigas do piso 1 e os pilares já colocados, porém a betonagem ainda estava para acontecer.



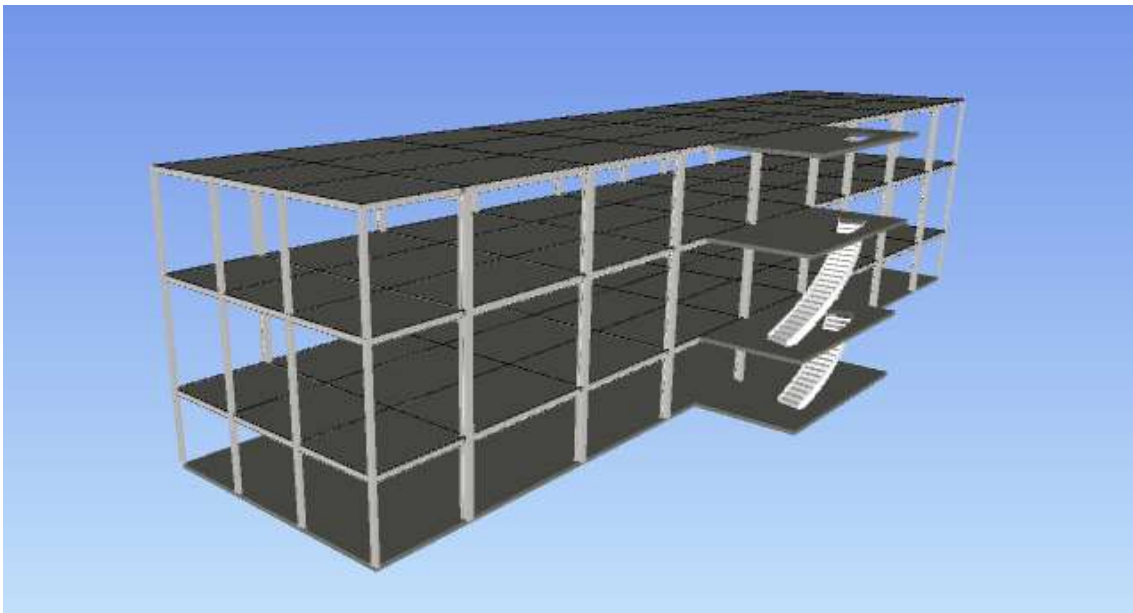
**Figura 44 - Simulação do projeto 4D**

Como foram feitos 2 projetos, tem o exemplo da Figura 45 e Figura 46 em que podemos ver as diferenças entre os BIM realizados com os

cronogramas diferentes. Na primeira feita com base no cronograma original, é possível ver que a betonagem do aproveitamento da cobertura ainda não foi realizada, e as paredes envolventes das escadas estão prontas. Já na segunda figura vemos a betonagem do aproveitamento de cobertura completo e as paredes envolventes não realizadas. Essa mudança foi descrita no trabalho e é possível ver com clareza nessa comparação, que ocorre na mesma data.



**Figura 45 - Projeto 4D do cronograma original**



**Figura 46 - Projeto 4D do cronograma alterado**

Para uma melhor visualização da mudança na ordem das atividades realizadas nos diferentes cronogramas, cada tarefa relacionada com sua estrutura e data de execução está disponível no anexo 2, sendo essa toda a

sequência da construção, as imagens foram retiradas da simulação 4D realizada no software Navisworks.

Portanto nesse estudo com a realização dos projetos BIM 4D conseguimos a visualização e um entendimento mais claro da obra e as alterações feitas, isso mostra que além de facilitar para execução dos processos das obras, também traz benefícios em relação ao cronograma. A união da *lean construction* com o BIM 4D pode ser estudada em diversos casos.

#### 4.4 Contribuições do estudo

Com a metodologia utilizada no estudo, temos que é possível realizar o diagnóstico para aplicação da construção enxuta em obras onde exista separação de tarefas.

A utilização da construção enxuta para resolver problemáticas durante a obra surge de maneira otimizada quando aplicada em conjunto com o questionário, que facilita esse diagnóstico, já que filtra e verifica os onze conceitos dentro da obra estudada, focalizando para os conceitos que podem ser aplicáveis.

Assim, através do preenchimento do questionário de Kurek, o qual busca saber quais os conceitos da *lean construction* que são mais indicados para a referente obra, é possível definir quais serão aplicados para resolver o problema encontrado, estando implícita a metodologia LPS.

Temos como exemplo a problemática encontrada na obra em estudo, que foi a betonagem em período de inverno rigoroso, onde no trabalho se apresentou ser uma das possíveis soluções através desse método, propondo-se a aplicação de três conceitos *lean* para solucionar o problema. Outro possível exemplo de aplicação é utilização dos conceitos para eliminar erros na execução de tarefas, com a aplicação de princípios da *lean* consegue-se reduzir e até mesmo eliminar esse tipo de problema caso seja identificado em obra.

Com a utilização desses conceitos foi possível otimizar a obra e recolocar a atividade no período desejado, sem que afetasse o prazo de entrega da obra. Lembrando que a otimização do cronograma sempre deve ter sua relação os rendimentos e mão de obra disponíveis, os quais também não foram afetados ao longo do estudo, embora se pudesse otimizar os mesmos, o que seria outra situação de proposta de aplicação dos pressupostos conceito LEAN.

O estudo ainda demonstra que a utilização dos projetos em BIM 4D, faz com que as aplicações e mudanças realizadas em função da aplicação da *lean construction* sejam visualizadas e comparadas de maneira mais clara e didática, sendo fundamental para o entendimento de todas as partes envolvidas (contratante, contratado e trabalhadores). Contudo, a aplicação do

BIM 4D permita retirar outras vantagens da sua aplicação, salientando-se a identificação de possíveis conflitos e interferências de espaço e tempo durante a construção, apoio no sequenciamento e na conformação ideal do ritmo de trabalho do cronograma, e transmissão de possíveis impactos causados por mudanças no planejamento.

Portanto, nesse estudo de caso podemos ver que a utilização do questionário, juntamente com a aplicação dos conceitos da construção enxuta e a realização do projeto BIM 4D, é uma metodologia possível para solução de problemas específicos em construções. Esta pode ser replicada para um padrão de obras/reformas, as quais tem suas tarefas definidas, pois sua abordagem seguirá sendo a mesma se tiver ocorrência de algum problema e existirem atividades em que podem ser aplicados os conceitos *lean*.

A título de exemplo, caso fosse uma obra com mais pavimentos, sendo esses diferentes, ou não, seria possível a utilização da mesma linha de orientação, pois o que interfere no uso é a separação das tarefas que serão realizadas e da forma que são encadeadas. Da mesma forma, podemos dizer que a realização dessa sequência não depende do período em que a obra é construída, já que existem diversos e frequentes problemas que podem ser encontrados, os quais não surgem unicamente através do clima em que é executada a obra, como no estudo de caso apresentado.

Para aplicação da mesma linha de orientação utilizada nesse trabalho ser aplicada em outros casos, existe uma ordem em que deve ser realizada:

- Deve-se ocorrer o reconhecimento da obra, qual sua estrutura, qual sua dimensão, seu prazo, e qual parte dela será estudada;
- Obtenção do cronograma previsto para a obra, mesmo que seja apenas aproximado.
- É importante ter uma noção da data de início da obra e a duração, percebendo a época do ano em que a construção vai ser edificada (Inverno, Verão).
- Verifica-se a existência da separação das atividades que serão executadas na construção, as quais devem ser distribuídas num cronograma;
- Caso exista essa separação, é possível realizar o diagnóstico da obra em busca de problemas para servir como objeto de estudo, procurando atividades que tenham alguma complicação, como por exemplo período que foi executada, eventuais problemas que exijam uma gestão mais controlada;
- Quando encontrado algum problema com potencial enquadramento na filosofia LEAN, realiza-se o questionário de Kurek na obra, para encontrar quais os princípios da construção enxuta que são mais apropriados de serem aplicados;
- A aplicação dos conceitos obtidos pelo questionário é realizada nas atividades em que são viáveis buscando resolver o problema, sem

alterar numa primeira interação quantidades de mão de obra aplicadas e rendimentos necessários, como por exemplo alterando a ordem de realização, ou padronizando das tarefas;

- Conhecendo com alguma fiabilidade os recursos humanos e técnicos do empreiteiro pode ajustar-se a alteração do cronograma alterando as equipas de mão de obra, com alteração de rendimentos e rentabilização de tempos no novo cronograma.
- Após isso a realização do projeto BIM 4D da obra, onde é possível visualizar com clareza as mudanças e resultados derivadas da aplicação dos conceitos *lean*;
- Por fim pode-se verificar se o objetivo foi alcançado, ou seja, se o problema foi resolvido por meio das orientações utilizadas.

No fluxograma da Figura 47 podemos ver a sequência em que são utilizadas todas as fases do processo para obter o resultado esperado e conforme descritas nos pontos anteriores deste subponto 4.4. Sendo essas linhas de orientação são possíveis de seguir para diversos tipos de obras.

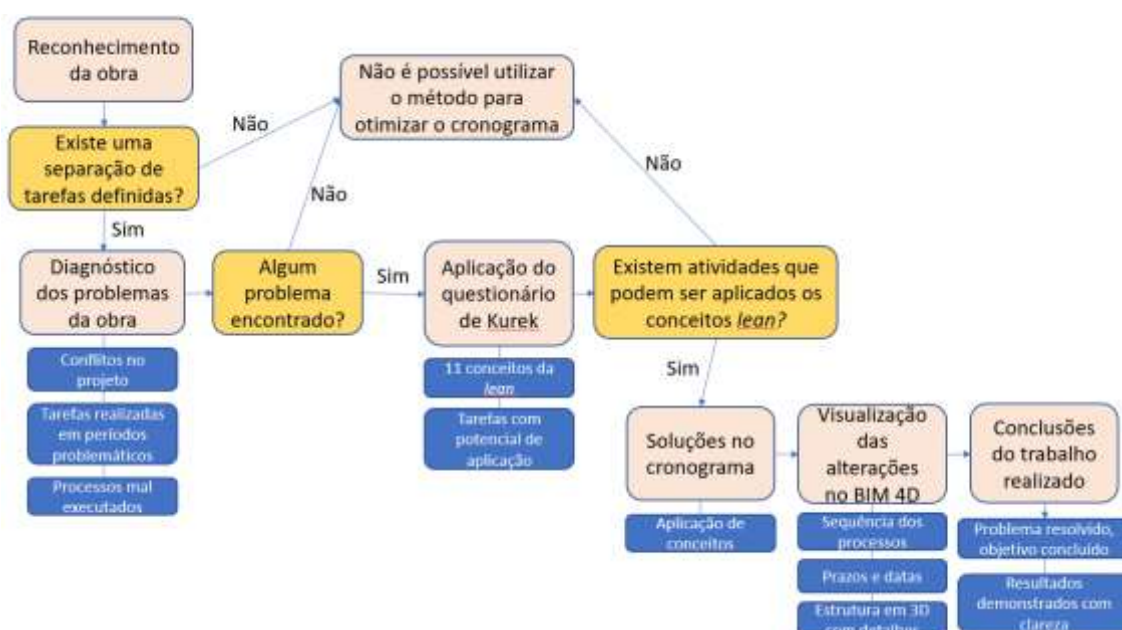


Figura 47 - Fluxograma da metodologia utilizada

## 5 Conclusões

### 5.1 Principais conclusões

A construção enxuta é um conceito que está cada vez mais difundido, como mostra o estudo. Os seus benefícios e aplicações podem ser vistos em diversos processos da construção, assim torna-se ainda mais interessante a sua aplicação.

O presente estudo mostra o cenário atual dos processos construtivos e como existem problemas para inovação desses procedimentos. A revisão bibliográfica traz ao estudo a descrição dos processos e possíveis alterações ligadas diretamente à *lean construction*. Além disso foi descrito como é fundamentado esse conceito, que tem seu surgimento do sistema de produção da Toyota.

Ainda no estado de arte do estudo, foi descrito e analisado o BIM (*Building information model*), suas aplicações, seus benefícios e seu formato 4D. Foi concluído que a aplicação do BIM 4D em conjunto com a *lean construction* seria uma alternativa para demonstrar de maneira acessível a execução da obra. A união dessas 2 ferramentas, faz com que a obra seja otimizada e simplificada para entendimento de todos os envolvidos.

Assim com a análise do conceito que tem como base o pensamento enxuto, em que está implícita a metodologia LPS, foi percebido que sua aplicação abrange muitas áreas dentro da construção. Então surgiu a possibilidade de aplicação no estudo de caso, em que após a realização de um diagnóstico da obra, foi possível encontrar um problema que seria o foco do trabalho.

A problemática encontrada e descrita foi a betonagem da laje de aproveitamento da cobertura, inicialmente realizada em período de inverno mais rigoroso, sendo que quando executada em condições de temperaturas muito baixas, influencia negativamente na resistência do material, como relatado por pesquisadores descritos na revisão bibliográfica.

Tendo em vista a problemática e as ferramentas que seriam utilizadas foi demonstrado uma das soluções possíveis. Com a aplicação dos conceitos enxutos foi viável realizar mudanças no cronograma original da obra para chegar ao objetivo proposto com a problemática.

Considerando que a obra foi executada de acordo com o cronograma disponibilizado para estudo, foi demonstrado que com a aplicação da *lean construction* é possível realizar alterações nos prazos e datas para que sejam corrigidas patologias e problemas durante a execução. Com o apoio do questionário de Kurek (2005) utilizado para identificar quais conceitos podem ser aplicados na obra, a escolha das ferramentas que foram utilizadas foi mais fácil, já que com o questionário preenchido é possível visualizar quais aspectos tem maior necessidade de aplicação.

Ao comparar o cronograma original com o alterado pela aplicação dos conceitos enxutos é possível perceber que a tarefa da betonagem da laje do aproveitamento da cobertura foi colocada para um período com clima mais ameno, sem geadas, e isso graças ao ganho de alguns dias de obra, devido a realocação de tarefas dentro do período de execução, baseadas na aplicação da construção enxuta.

Em conjunto com o BIM 4D e os detalhes das estruturas presentes no projeto, a comparação da sequência de execução e mudança de datas, é demonstrada de maneira otimizada para compreensão de todas as partes interessadas (de trabalhadores à contratantes).

Portanto, o objetivo do estudo foi alcançado, já que ocorreu a mudança necessária no cronograma e foram aplicados conceitos enxutos (reduzir a variabilidade, reduzir o tempo de ciclo de produção e focar o controle no processo global) para resolver problemas em obra, assim também indicando essa como uma das soluções para as betonagens em temperaturas muito baixas. Além disso o estudo demonstra como a aplicação da *lean construction* pode resolver obstáculos no cronograma de execução de uma obra. No entanto a análise do cronograma inicialmente existente, não se registraram os mesmos tempos para as mesmas tarefas entre pavimentos, o que na manipulação do novo cronograma atendeu-se aos tempos mínimos que demoraram estas tarefas repetidas, o que permitiu reduzir o tempo de ciclo de produção e focar o controle no processo global (outros conceitos da construção enxuta aplicados além do já referido reduzir a variabilidade).

O estudo de caso aborda apenas um caso, mas o trabalho mostra que pode ser aplicado para solucionar e melhorar muitos processos em outras construções, atendendo particularmente as condicionantes e especificidades de cada construção, que diferem de obra para obra. Contudo estas podem ser ajustadas e trabalhadas para que se possam aplicar os conceitos de construção enxuta aplicados e eventualmente outros.

O estudo apresentado demonstra que a metodologia utilizada pode ser seguida para solucionar problemáticas em obras que se enquadram no padrão estudado, no caso construções que tenham suas tarefas de execução separadas e definidas para serem colocadas num cronograma.

Por fim, constata-se que a utilização da *lean construction* em conjunto com o BIM 4D, além de trazer diversos benefícios para a obra analisada, pode ser utilizada para resolver problemáticas em processos e cronogramas de execução, melhorando o planejamento e cronograma de outros processos da construção civil.

## 5.2 Limitações do estudo

Para o desenvolvimento do trabalho as limitações presentes ocorreram em relação a possíveis prazos do cronograma disponibilizado não estarem condizentes com a realidade.

Em relação a obra, como trata-se da reforma da estrutura do seminário, não foi possível realizar o diagnóstico em cima das partes finais da obra para talvez encontrar problemas nessas atividades, como por exemplo acabamentos internos e externos.

Podemos também citar que como trata-se de um cliente diferente, no caso o próprio seminário, alguns dos conceitos da *lean construction* não são possíveis de serem aplicados, como por exemplo, o pressuposto de “Aumentar o valor do produto através da consideração das necessidades do cliente”, pois esse conceito parte de princípios diretamente ligados ao contratante.

Não se conhecer a estrutura da empresa e de subempreiteiros, pelo que se considerou constante o número de pessoas nas alterações de cronograma, onde se conhecendo números reais poderia levar ajustes de cronograma diferentes e até mais racionalizados.

Problema de falta de planejamento das obras, que se sabe quando começam, mas desconhece-se com rigor a data de início das diferentes actividades seguintes, o que se pode repercutir em atrasos da obra.

## 5.3 Futuras linhas de investigação

O trabalho pretende inspirar investigadores no estudo sobre a construção enxuta e suas contribuições na construção civil, além de fazer com que o BIM 4D se torne mais frequente em projetos, melhorando e otimizando cada vez mais as obras.

O presente estudo pode servir como referência para futuros trabalhos relacionados a aplicação da *lean construction* para solucionar problemas relativos a cronogramas em obras. Além disso abre a possibilidade de serem realizados estudos que tragam outras problemáticas, a fim de mostrar a quão ampla pode ser o uso dos conceitos *lean* dentro da construção civil.

Como exemplo e sugestão de estudo, as linhas de orientação podem ser utilizadas e aplicadas em obras de diferentes volumes e estruturas executados para comparar as diferenças de conceitos que podem ser utilizados entre as obras, no entanto estudos similares em obras sem grande repetição de tarefas é desejável.

Além disso, pode-se realizar esse tipo de estudo no Brasil e Portugal para discutir em qual das regiões já tem mais conceitos enxutos introduzidos nas construções.

Existe ainda a possibilidade de aplicar a metodologia utilizada nesse estudo para abordar as tarefas de uma obra inteira, desde sua infraestrutura até seus acabamentos e verificar o quão aplicável e benéfico pode ser o estudo quando é aplicado na obra completa.

## 6 Bibliografia

AISH, R., **Building modelling the key to integrated construction CAD**. 1986.

ALMEIDA, E. L. G. de; PICCHI, F. A. **Relação entre construção enxuta e sustentabilidade. Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 91-109, jan./mar. 2018.

AZHAR, S. **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry**. Leadership and Management in Engineering, Vol. 11, pp.241-252. 2011.

BALLARD, H. G. **The last planner system of production control**. 192 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Birmingham, 2000

BALLESTY, S. **Building Information Modelinf for Facilities Management using IFC**. pp 1-10 London. 2007.

BAZJANAC, V. **“Virtual building environments (VBE)—Applying information modeling to buildings.”** Engineering, Computer Science (<http://repositories.cdlib.org/lbnl/LBNL-56072>). 2006.

BIMForum. **Defining Level of Development**. Specifying BIM Deliverables. 2012.

BIOTTO, C. N.; FORMOSO, C. T.; ISATTO, E. L. **O Uso da Modelagem BIM 4D na Projeto e Gestão de Sistemas de Produção em Empreendimentos de Construção**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., Juiz de Fora, 2012. Anais... Porto Alegre: ANTAC. 2012.

BORTOLINI, R.; FORMOSO, C. T.; VIANA, D. D. **Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling**. Automation in Construction, Volume 98. 2019.

BRANCO, C. P.; ALTINO, F. V. A.; MACHADO, G. M. **Avaliação da Resistência à Compressão do Concreto Exposto à Baixas Temperaturas e Curado por Imersão.** Revista eletrônica multidisciplinar FACEAR. 2015.

BRITO, D. M. D.; FERREIRA, E. D. A. M. **Avaliação de estratégias para representação e análise do planejamento e controle de obras utilizando modelos BIM 4D.** Ambiente construído, 15, 203-223. 2015.

CALDER et al., **“Computational modelling for decision-making: Where, why, what, who and how”** Royal Society Open Science. 2018.

CÂMARA, M. R. G.; BERGAMASCO, F. L. **Competitividade e Inovação nas empresas de construção civil de Londrina.** In: SEMINÁRIO LATINO-IBERO AMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA (ALTEC), 2005, Salvador. Anais... Salvador, 2005.

CASTRO, E. M. C. de. **Patologia dos edifícios em estruturas metálicas Ouro Preto: Departamento de Engenharia Civil,** Escola de Minas, UFOP, (Dissertação de Mestrado), Ouro Preto. 1999.

CARMONA, J.; IRWIN, K. **“BIM: Who, what, how and why.”** Building Operating Management. (<http://www.facilitiesnet.com/software/article/BIM-Who-What-How-and-Why-7546>). 2007.

CHEN, K.; LU, W.; PENG, Y.; ROWLINSON, S.; HUANG, G. Q. **Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework.** International Journal of Project Management, Volume 33, Issue 6. 2015.

CORREIA, J. V. F. B. Contextualização dos princípios da construção enxuta: aplicação da filosofia enxuta do sistema Toyota de produção na indústria da construção civil em exemplos práticos. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas** - UNIT, v. 4, n. 3, p. 29, 19 abr. 2018.

COSTA NETO, E. N. et al. **Avaliação da utilização dos princípios da construção enxuta em duas empresas do setor da construção civil no município de Rondonópolis-MT.** Revista ESPACIOS | Vol. 36 (No 19) ANO 2015, [s.d.].

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. (2011) - **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. Wiley. 2011.

FELLOWS, R; LIU, A. **Research Methods for Construction**. 4. ed. United Kingdom: Wiley Blackwell, 2015.

FRIGG, R.; HARTMANN S. “**Stanford Encyclopedia of Philosophy: Models in Science**” Stanford Encycl. Philos., p. 22, 2018.

FUJIMOTO, T. **The Evolution of Manufacturing System at Toyota**. New York: Oxford University Press, 1999.

GHINATO, Paulo. **Sistema Toyota de produção: mais do que simplesmente Just-in-Time**. *Prod.*, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 169-189, Dec. 1995.

GU, N.; LONDON, K. **Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry**. *Automation in construction*, Volume 19, Issue 8, pages 988-999. 2010.

HAMMARLUND, Y; JOSEPHSON, P. “**Qualidade: cada erro tem seu preço**”. *Téchne*, n. 1, p. 32-34. 1992.

HARDIN, B. **BIM and construction management**. Wiley, Indianapolis, IN. 2009.

HARTMANN, T.; GAO, J.; FISCHER, M. **Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects**. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 143, n. 10, p. 776-785. 2008.

HÖÖK, M.; STEHN, L. **Applicability of lean principles and practices in industrialized housing production**. *Construction Management and Economics*: Vol 26, No 10. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01446190802422179>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

KENLEY, R.; SEPPÄNEN, O. **Location-based management for construction: Planning, scheduling and control**. 1. ed. Abingdon: Spon Press, 2010.

KIM, Y. W.; BALLARD, G. **Is the earned-value method an enemy of work flow?**. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 8. Brighton, 2000.

KOO, B.; FISCHER, M. **Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 126, n. 4, p. 251-260. 2000.

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

KOSKELA, L. **Lean Construction core concepts and new frontiers**. 1. ed. New York: Koskela, 2020.

KUREK, J. **Introdução dos princípios da filosofia de construção enxuta no processo de produção em uma construtora em Passo Fundo-RS**. Passo Fundo, Universidade de Passo Fundo, 15 abr. 2005.

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. **Eliciting information for product modeling using process modeling**. Data & Knowledge Engineering, vol. 62, no. 1, pp. 292-307. 2007.

LIMMER, C. V. **Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras**, Rio de Janeiro, Editora LTC. 1997.

LINO, J. C.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. **Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas**. Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012. FEUP. 2012.

MAHDJOUBI, L.; MOOBELA, C.; LAING, R. **Providing real-estate services through the integration of 3D laser scanning and building information modelling**. Computers in Industry, 64, pages 1272-1281. 2012.

MONDEN, Y. **Toyota Production System: Practical Approach to Production Management**. Norcross, USA, Industrail Engineering and Management Press, 1983.

MORDUE, S.; SWADDLE, P.; PHILP, D. **Building Information Modeling for Dummies: A Wiley Brand**. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex. 2016.

NAHMENS I.; IKUMA L H. **Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding**. Journal of Architectural Engineering, v. 18, n. 2, p. 155–163, 1 jun. 2012.

NERY, V. F. E S. DE O.; ZATTAR, I. C.; OLIVEIRA, V. O. DE. **Aplicação da Filosofia Lean Construction no Processo Produtivo de uma Empresa do Setor de Construção Civil**. Exacta, v. 15, n. 4, 28 dez. 2017.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PERETTI, L. C.; DE FARIA, A. C. **Aplicação dos princípios da construção enxuta em construtoras verticais: estudo de casos múltiplos na região metropolitana de são paulo**. São Paulo, Enanpad, p. 16, 2013 [s.d.].

POPPENDIECK, M. et al. **Principles of Lean Thinking**. USA, p. 7, 2002.

SHINGO, S. **Study of Toyota Production System from industrial engineering viewpoint**. Tokyo, Japan Management Association, 1981.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SACKS, R.; EASTMAN, C.; LEE, G.; TEICHOLZ, P. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers**. 3a. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 659 p. 2018.

SACKS R.; GOLDIN M. **Lean Management Model for Construction of High-Rise Apartment Buildings**. Journal of Construction Engineering and Management, v. 133, n. 5, p. 374–384, 1 maio 2007.

SAURIN, T.A.; FORMOSO, C.T. **Planejamento de Canteiro de Obra e Gestão de Processos (volume 3)** – Programa de Tecnologia de Habitação, 2006.

SEPPÄNEN, O.; BALLARD, G.; PESONEN, S. **The combination of last planner system and location-based management system**. Lean Construction Journal, v. 1, n. 1, p. 43-54, 2010.

TEZEL, A; AZIZ, Z. **Visual management in highways construction and maintenance in England**. Emerald Insight. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ECAM-02-2016-0052/full/html>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

TOLEDO, Raquel de; ABREU, Aline F. de; JUNGLES, Antônio E. **A difusão de inovações tecnológicas na indústria da construção civil**. Brasil – Salvador/BA. 2000. v.1 p.317-324. ENTAC, 8º, Salvador, 2000.

VIEIRA, M.; GONÇALVES, A. **Acção das temperaturas negativas no betão às primeiras idades**. BE2008 – Encontro Nacional Betão Estrutural. Guimarães. 2008.

WOMACK, D.P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

ZOU, Y.; KIVINIEMI, A.; JONES, S. W. **A review of risk management through BIM and BIM-related technologies**. Safety Science, Volume 97. 2017.

## 7 Anexos

### Anexo 1 – Questionário de verificação dos princípios da construção enxuta

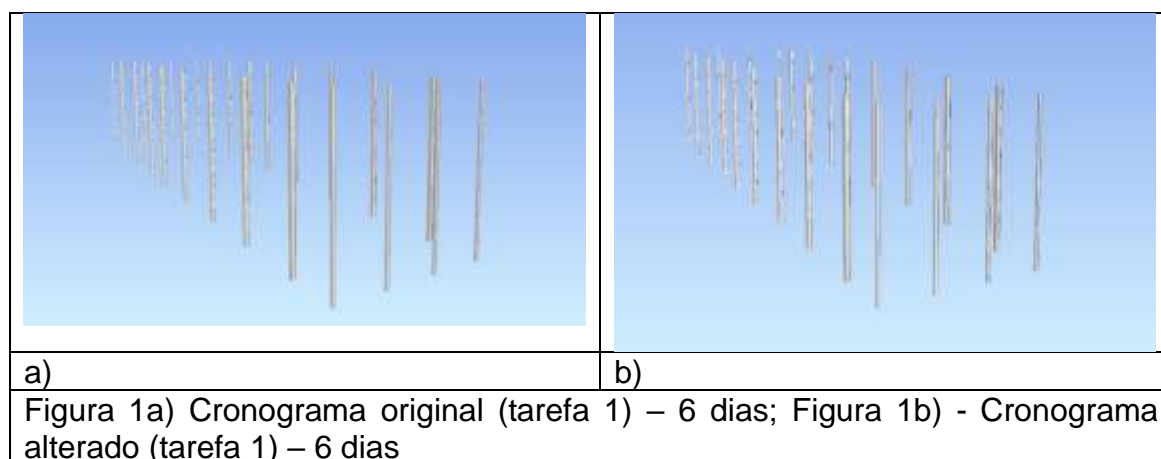
	<b>QUESTIONÁRIO DE VERIFICAÇÃO PARA DIAGNÓSTICO E IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>	<b>NÃO SE APLICA</b>
<b>1</b>	<b>REDUZIR A PARCELA DE ATIVIDADES QUE NÃO AGREGAM VALOR</b>			
1.1	A obra possui um arranjo físico, para armazenamento de materiais, visando minimizar a distância entre locais de descarga e os respectivos locais de utilização?	X		
1.2	Existem evidências de redução de atividades de movimentação, inspeção e espera (utilização de algum dispositivo de melhoria do fluxo do processo)?		X	
<b>2</b>	<b>AUMENTAR O VALOR DO PRODUTO ATRAVÉS DA CONSIDERAÇÃO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE</b>			
2.1	São identificadas as necessidades dos clientes internos e externos?			X
2.2	Os processos são mapeados e identificados os clientes e seus requisitos?			X
2.3	Existe alguma forma sistemática para obter os requisitos do cliente (pesquisa de mercado e avaliações pós-ocupação)?			X
2.4	Existe retroalimentação com projetistas, por exemplo, reuniões onde são debatidos os requisitos dos clientes?			X
2.5	Existe planejamento das tarefas, a fim de garantir os requisitos dos clientes internos na sequência de atividades?			X
<b>3</b>	<b>REDUZIR VARIABILIDADE</b>			
3.1	Existem procedimentos padronizados para execução das tarefas?		X	
3.2	Existem procedimentos padronizados para recebimento dos materiais?		X	
3.3	Existe controle da variabilidade na execução das tarefas?		X	
3.4	Existe planejamento e controle da produção?	X		
<b>4</b>	<b>REDUZIR O TEMPO DO CICLO DE PRODUÇÃO</b>			
4.1	Existem boas condições de trabalho, com segurança e equipamentos adequados aos operários?	X		
4.2	Existe uma divisão dos ciclos de produção (como pacotes de trabalho, conclusão de uma metragem especificada,		X	

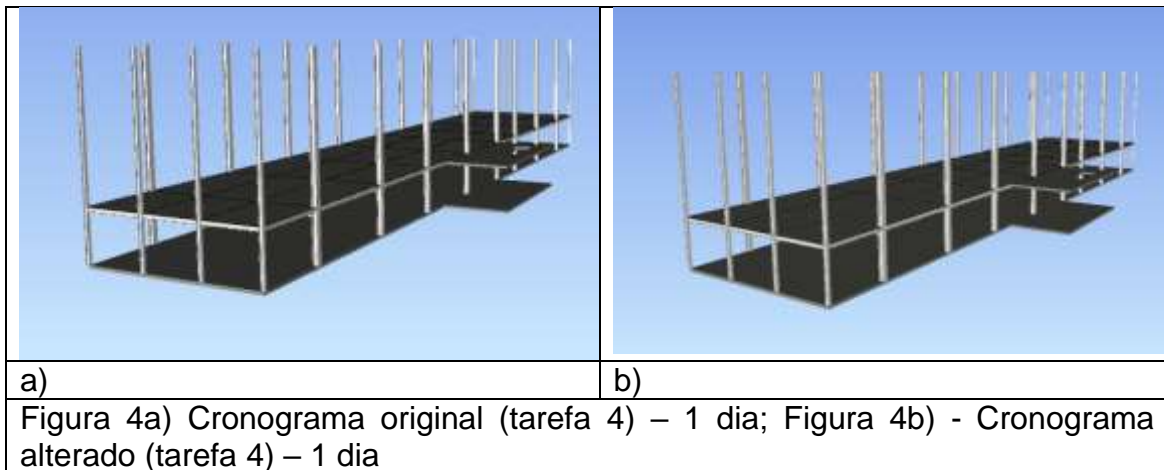
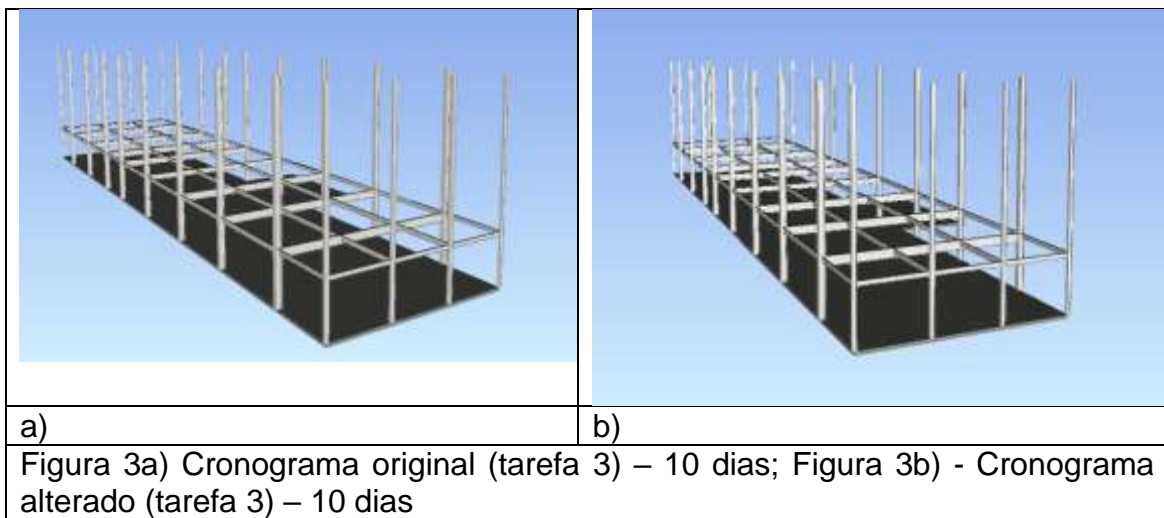
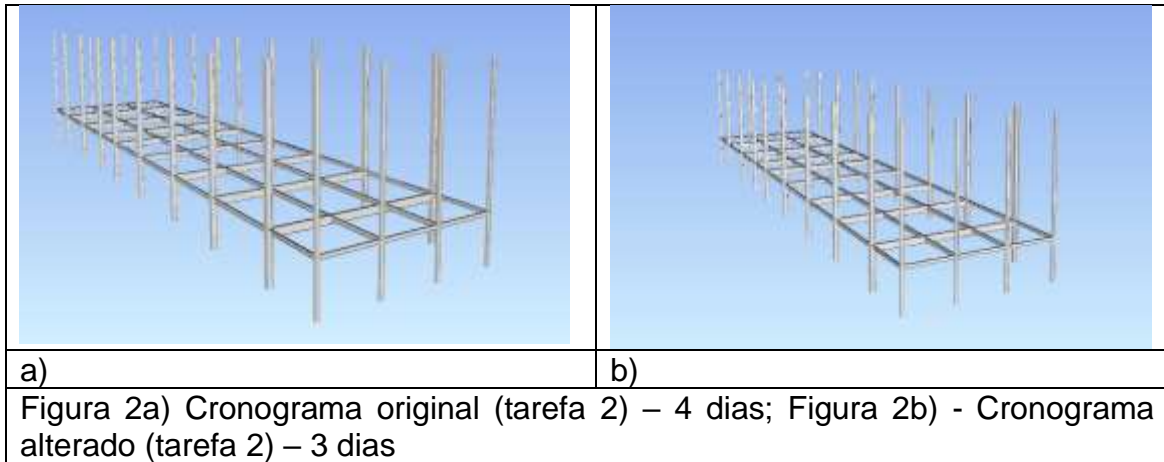
	conclusão por pavimento)?			
4.3	Existe alguma evidência de eliminação de atividades de fluxo, que fazem parte de um ciclo de produção?		X	
<b>5</b>	<b>SIMPLIFICAR ATRAVÉS DA REDUÇÃO DO NÚMERO DE PASSOS OU PARTES</b>			
5.1	É evidenciada a utilização de elementos pré-fabricados, kits ou máquinas polivalentes no processo de produção?	X		
5.2	Existe um planejamento do processo de produção?	X		
5.3	Existe uma constante avaliação do processo, buscando a melhoria (reuniões, discussões para identificação de simplificação das operações)?		X	
5.4	Existe uma organização no canteiro, com relação ao armazenamento de equipamentos e material, visando eliminar ou reduzir a ocorrência de movimentação e deslocamento?	X		
<b>6</b>	<b>AUMENTAR A FLEXIBILIDADE DE SAÍDA</b>			
6.1	O produto é customizado no tempo mais tarde possível?			X
6.2	O processo construtivo permite a flexibilização do produto, rapidamente, sem grandes ônus para a produção (como utilização de divisórias de gesso acartonado ou lajes planas)?			X
6.3	As equipes de produção são polivalentes?			X
6.4	Existe uma minimização no tamanho dos lotes aproximando-os de sua demanda?			X
<b>7</b>	<b>AUMENTAR A TRANSPARÊNCIA DO PROCESSO</b>			
7.1	O canteiro de obras está livre de obstáculos visuais, como divisórias?	X		
7.2	No canteiro são utilizados dispositivos visuais, como cartazes, sinalização e demarcação de áreas?	X		
7.3	São empregados indicadores de desempenho, que tornam visíveis atributos do processo?		X	
7.4	São empregados programas de melhoria na organização e limpeza, como o Programa 5S?		X	
<b>8</b>	<b>FOCAR O CONTROLE NO PROCESSO GLOBAL</b>			
8.1	A empresa faz parceria com fornecedores, no sentido de reduzir atividade que não agregam valor, no momento da entrega e qualidade do material?	X		
8.2	Existem planejamento e controle da produção, a fim de		X	

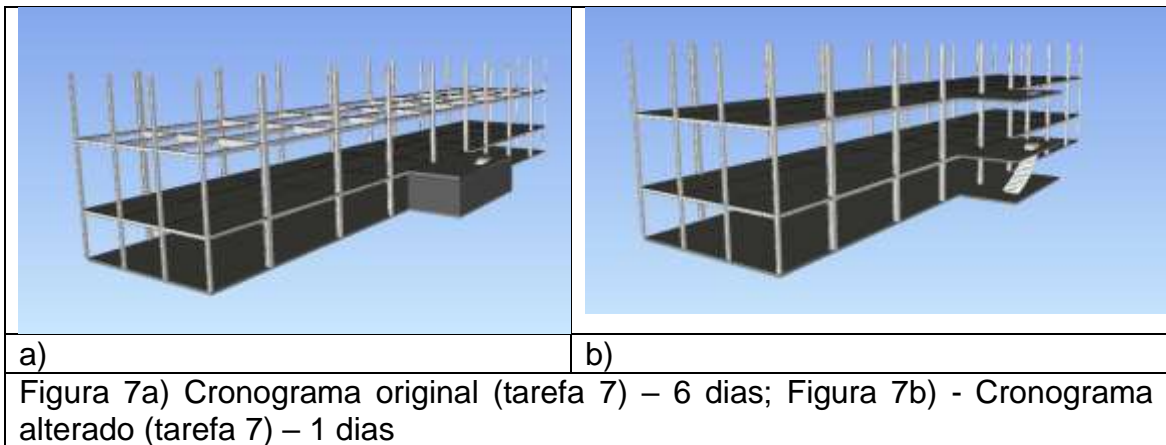
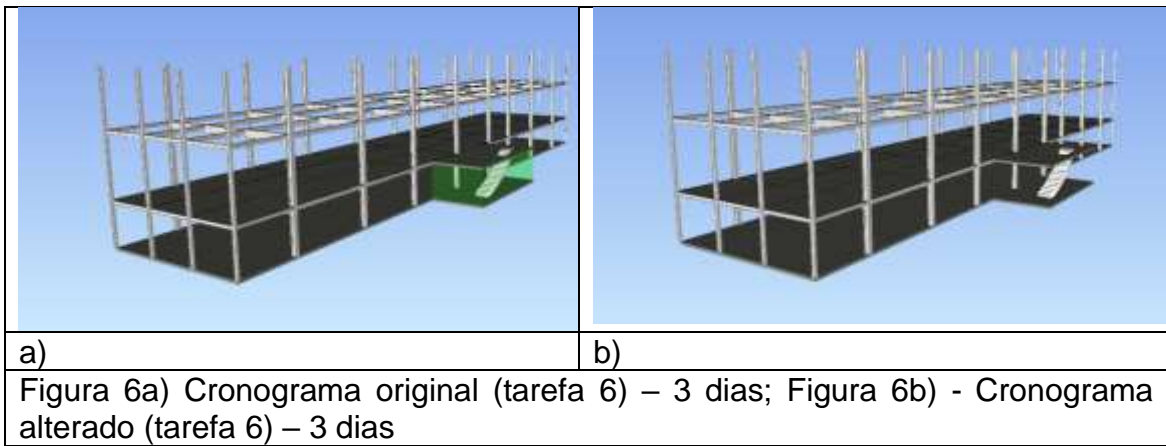
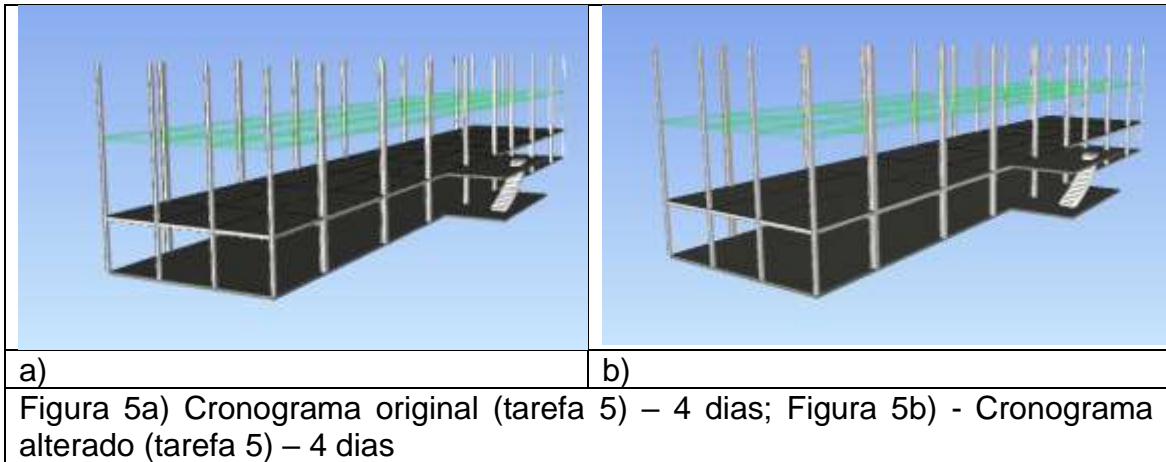
	garantir a entrega da obra no prazo?			
<b>9</b>	<b>INTRODUZIR MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO</b>			
9.1	Existem evidências, exemplos de dignificação e iniciativas de apoio à mão de obra?		X	
9.2	Existem procedimentos para monitorar as ações corretivas (as causas reais) e a eliminação com ações preventivas?	X		
9.3	A gestão é participativa, são aceitas sugestões de funcionários?		X	
9.4	Utilizam-se indicadores de desempenho para monitoramento dos processos?		X	
<b>10</b>	<b>MANTER UM EQUILÍBRIO ENTRE MELHORIAS NOS FLUXOS E NAS CONVERSÕES</b>			
10.1	São evidenciadas práticas de melhorias nos fluxos, tal como o mapeamento do processo?		X	
10.2	Existe uma estratégia de ataque à obra?		X	
<b>11</b>	<b>REFERENCIAIS DE PONTA (BENCHMARKING)</b>			
11.1	A empresa conhece seus próprios processos (estão descritos e entendidos)?			X
11.2	É evidenciado o aprendizado, a partir de práticas adotadas em outras empresas similares?			X
11.3	Adapta as boas práticas encontradas à sua realidade?			X

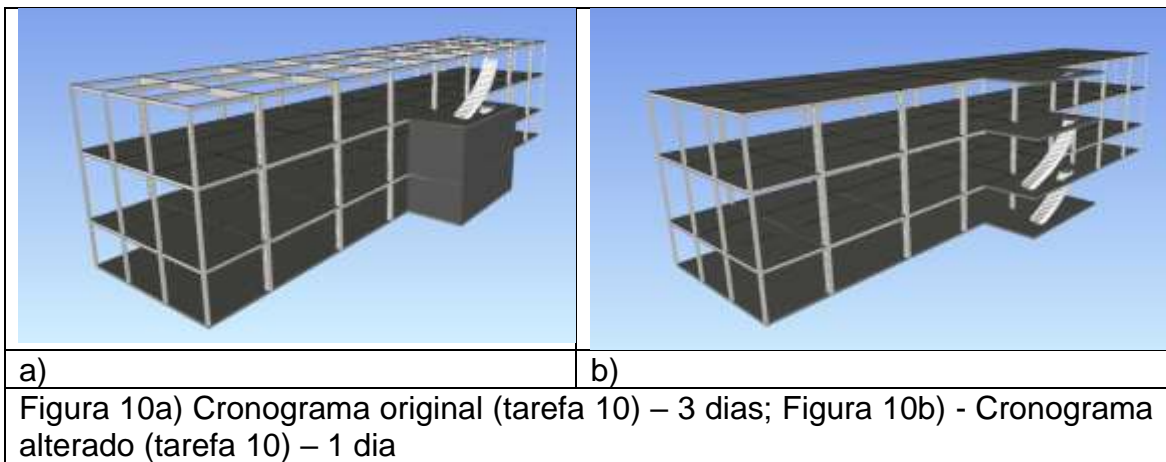
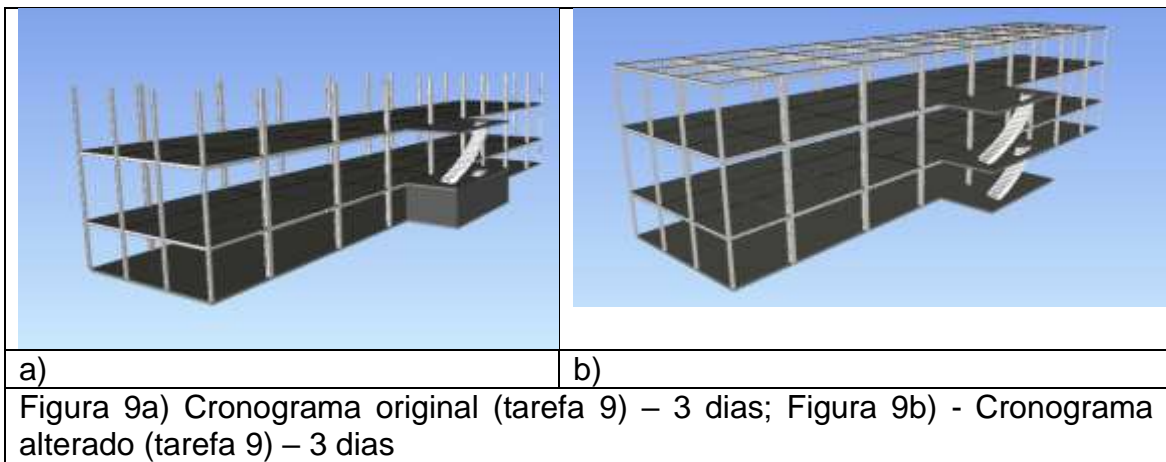
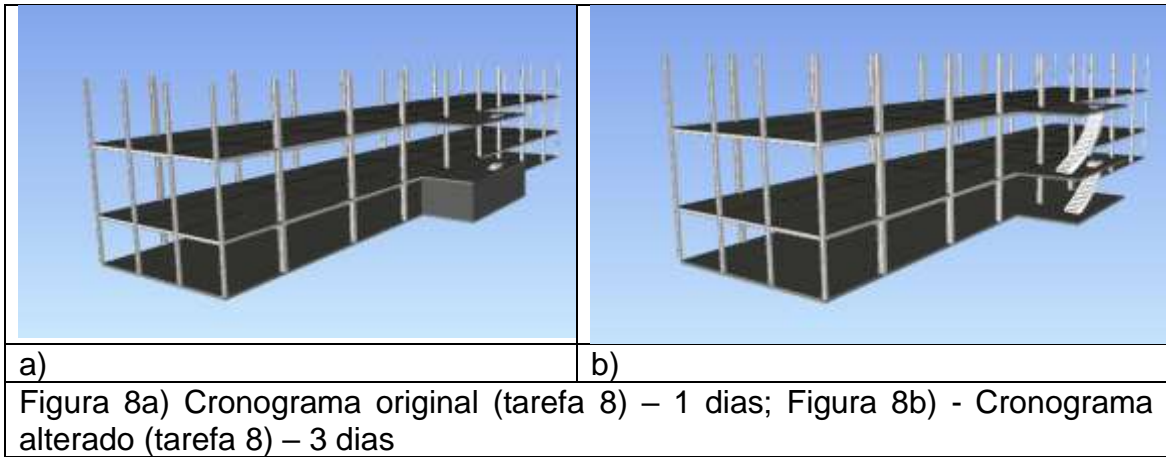
Fonte: Juliana Kurek (2005)

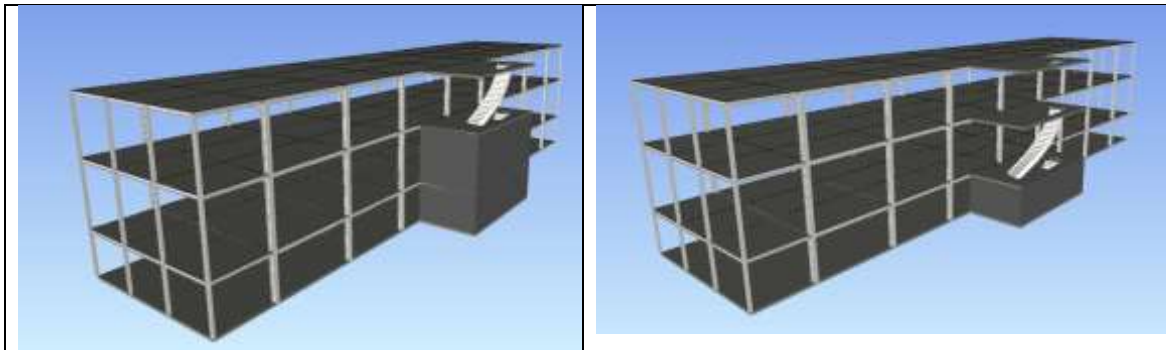
## Anexo 2 – Comparação entre o cronograma original e o cronograma alterado recorrendo à visualização BIM 4D.







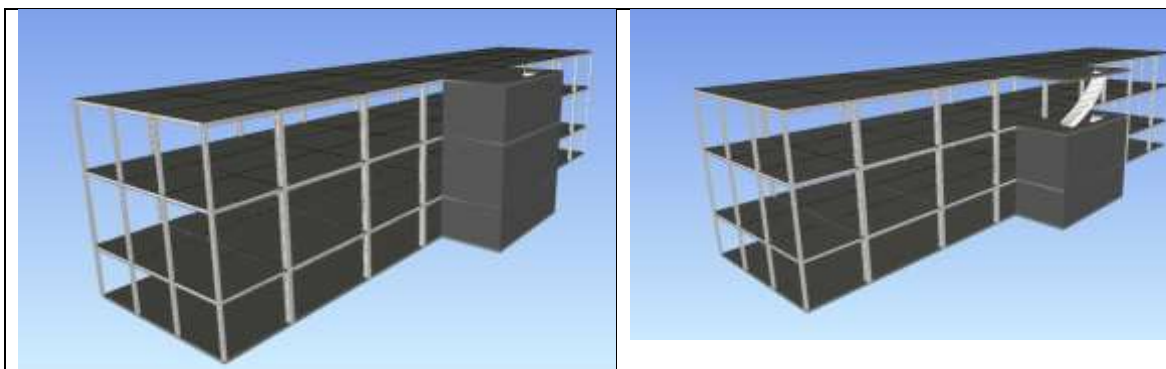




a)

b)

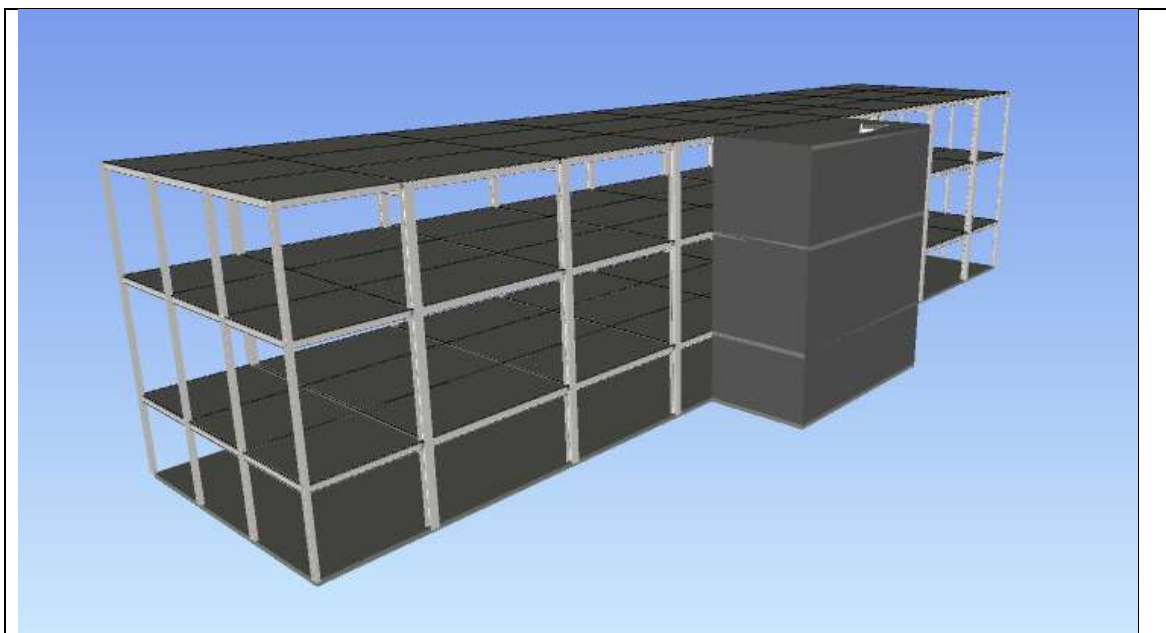
Figura 11a) Cronograma original (tarefa 11) – 1 dia; Figura 11b) - Cronograma alterado (tarefa 11) – 5 dias



a)

b)

Figura 12a) Cronograma original (tarefa 12) – 5 dias; Figura 12b) - Cronograma alterado (tarefa 12) – 5 dias



a)

Figura 13a) Cronograma alterado (tarefa 13) – 5 dias

**Anexo 3 – Cronograma original**

**Anexo 4 – Cronograma alterado**